はじめに

皆さんは今まで，どんなことを意識しながら勉強してきましたか？単純に好きな科目だからいつもやっていた人，とにかく受験で必要だから解きまくっておかなきゃという人，この科目はよくわからないから後回しな人，など様々だと思います。特に物理の場合は３番目の意見の人が多いかもしれませんね。

しかし，物理というのは本当はおもしろい学問なのです。「ほんの少し」解り始めるだけで途端におもしろくなる，そんな学問なのです。ただ，その「ほんの少し」の理解に皆苦しんでしまい，嫌いになってしまう。ですから，授業ではそこを，「最初の第１歩」を特にしっかりとやりたいと思います。覚えなければいけないことはほんの少しだけしかありません。授業では原理や法則などを含め，何を覚えなければいけないのか，何は覚えなくてよいのか，をしっかりと把握させ，「はじめの一歩」でつまずかないように話をしています。動画を見てポイントの説明を理解したら，まずはそれを「使ってみて」ください。それが，「物理」というものの理解につながるはずです。

このテキストは，入試問題に頻出の問題を集め，それを通して物理の基本的な考え方が理解できるように編集してあります。また，各講の内容が理解できたかチェックできるテスト＆解説がついています。講によっては総合的な内容になっているものもあります。ポイント➡例題➡テストの３段階チェックで，しつこいくらいに確認をしながら進めていけるはずです。

物理の力をつけるために，とにかくまずはこのテキストをしっかり理解するように努めましょう。
そのためには，

１．テキストをざっとみたら授業をしっかり聞いて，ノートをとる
２．**何も見ずに解けるようになるまで繰り返し解く。**
３．類題などを解き，知識，技術をしっかりと身につける。

ということを意識して進めてください。特に２. の**繰り返す**ということが大事です。これを怠って点が伸びない人がとても多い。わかった気になって放っておくのが一番危険です。つまずいたときは，再び動画を見てみればいい。飽きを感じたりすることもあるかもしれませんが，初めのうちは，とにかく**何度も繰り返して**ください。

受験期はいろいろな意味で成長できる大事な時期です。沢山のことを貪欲に，しっかりと吸収し，１段も２段も上へと成長できるよう，弛まず進んでいってください。そして，必ず栄光をつかみましょう！

中野　喜允

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜前期　目次＞

力学

第 1 講　速度・加速度
第 2 講　力のつりあい
第 3 講　運動方程式
第 4 講　摩擦力
第 5 講　束縛条件
第 6 講　力のモーメント
第 7 講　仕事とエネルギー
第 8 講　運動量と力積
第 9 講　総合演習１
第 10 講　円運動
第 11 講　単振動
第 12 講　慣性力
第 13 講　２体問題
第 14 講　万有引力
第 15 講　総合演習２

波動

第 16 講　波の基本
第 17 講　重ね合わせと定常波，反射
第 18 講　波の干渉
第 19 講　弦と気柱の振動
第 20 講　ドップラー効果
第 21 講　光と屈折
第 22 講　レンズ
第 23 講　光の干渉１
第 24 講　光の干渉２
第 25 講　総合演習３

（以下、後期に続く）

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第１講　速度・加速度

1

［A］

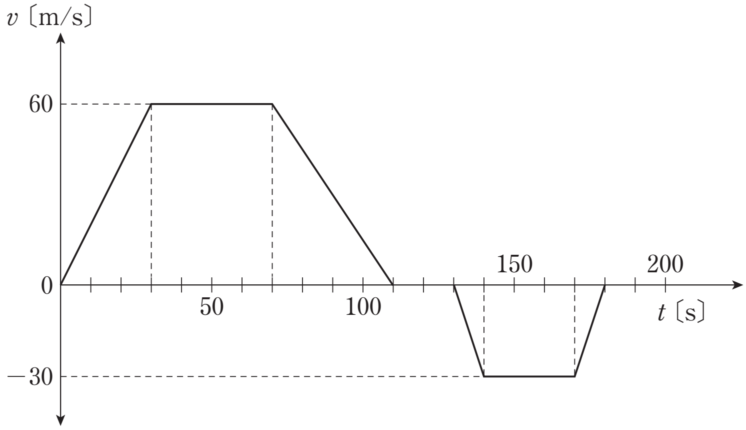
２個の質点P，Qが時刻 $t=0$ に原点 $x=0$ を同時に出発して x 軸上を正の方向に進んでいる。Pは初速度0，加速度 a の等加速度運動，Qは速度 v_0 の等速度運動をしている。

(1)　PとQの速度が等しくなったとき，PQ間の距離はいくらか。

(2)　PとQが再び出会う時刻と位置を求めよ。

［B］

電車がA駅を出てからB駅に到着するまでの速度 v [m/s] と経過時間 t [s] の関係を測定したところ，B駅を通り過ぎていったん停止し，再び動き出してB駅に到着した。以下の問に答えなさい。



(1)　発車後，30秒間の加速度の大きさ a [m/s^2] を求めよ。

(2)　初めてB駅に近づいた時の減速中の加速度の大きさ d [m/s^2] を求めよ。

(3)　B駅を通り過ぎていったん停止した場所のA駅からの距離 [m] を求めよ。

(4)　A駅とB駅の間の距離 [m] を求めよ。

(5)　別の電車で，A駅を出発後，a [m/s^2] で加速し最高速度60m/sでしばらく移動して d [m/s^2] で減速した。A駅からB駅に最短時間で到着するためには，出発後何秒から減速を始めれば良いか。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

次の文を読み，下の各問に答えよ。ただし，(1)以外の問に対しては，最も適当な答えをそれぞれの解答群から一つ選びなさい。ただし，空気の抵抗と物体の大きさは無視できるとする。また，鉛直上向きを正とし，重力加速度の大きさは g [m/s^2] とする。

図1に示すように，床面から高さ h [m] のQ点から小球Aを鉛直上方に速さ v_0 [m/s] で投げ上げた。

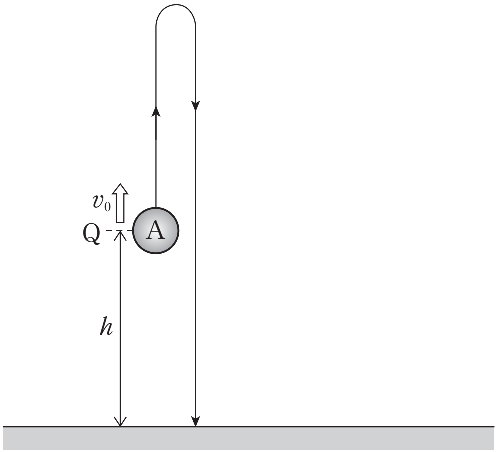


図1

(1)　小球Aを投げ上げてからAが最高点に達するまでの時間 t_0 [s] を，v_0 と g を用いて表せ。

(2)　最高点の高さ h_1 [m]（床面からの高さ）を，v_0，g と h を用いて表せ。

解答群

(ア) $\dfrac{2gh+{v_0}^2}{2g}$　(イ) $\dfrac{gh+{v_0}^2}{g}$　(ウ) $\dfrac{gh+v_0}{2g}$　(エ) $\dfrac{2gh+v_0}{g}$

(オ) $\dfrac{h{v_0}^2+g}{{v_0}^2}$　(カ) $\dfrac{h{v_0}^2+2g}{{v_0}^2}$

(3)　(2)において，(h_1-h) が10mとなった場合，小球Aの速さ v_0 は何m/sか。ただし，重力加速度の大きさは9.8m/s^2 とする。

解答群

(ア) 144　(イ) 169　(ウ) 196　(エ) 12

(オ) 13　(カ) 14

(4)　小球Aを投げ上げてから，はじめてQ点を通過するまでの時間を，v_0 と g を用いて表せ。

解答群

(ア) $\dfrac{v_0}{2g}$　(イ) $\dfrac{v_0}{g}$　(ウ) $\dfrac{{v_0}^2}{g}$　(エ) $\dfrac{2v_0}{g}$

(オ) $\dfrac{2g}{v_0}$　(カ) $\dfrac{g}{v_0}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(5)　(4)において，Q 点における速度を v_0 を用いて表せ。

解答群

(ア)　$-2v_0$　　(イ)　$-v_0{}^2$　　(ウ)　$-v_0$　　(エ)　v_0
(オ)　$v_0{}^2$　　(カ)　$2v_0$

(6)　小球 A を投げ上げてから A がはじめて床面に達する直前の速度を，v_0，h と g を用いて表せ。

解答群

(ア)　$-2\sqrt{v_0{}^2+gh}$　　(イ)　$-\sqrt{v_0{}^2+2gh}$　　(ウ)　$-\sqrt{v_0{}^2+gh}$　　(エ)　$\sqrt{v_0{}^2+gh}$
(オ)　$\sqrt{v_0{}^2+2gh}$　　(カ)　$2\sqrt{v_0{}^2+gh}$

(7)　(6)において，はじめて床面に達するまでの時間を，v_0，h と g を用いて表せ。

解答群

(ア)　$\dfrac{2v_0+\sqrt{v_0+2gh}}{2g}$　　(イ)　$\dfrac{2v_0+\sqrt{v_0+2gh}}{g}$

(ウ)　$\dfrac{v_0+\sqrt{v_0{}^2+gh}}{g}$　　(エ)　$\dfrac{2v_0+\sqrt{v_0{}^2+gh}}{2g}$

(オ)　$\dfrac{v_0+\sqrt{v_0{}^2+2gh}}{g}$　　(カ)　$\dfrac{2v_0+2\sqrt{v_0{}^2+2gh}}{g}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

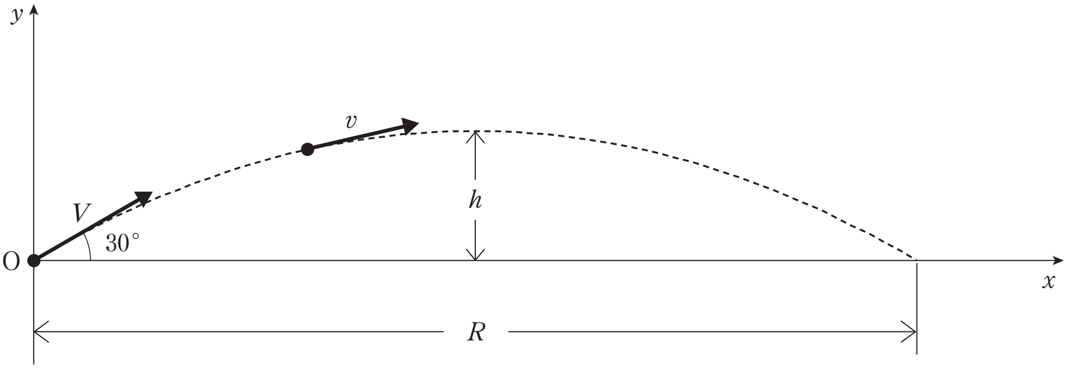
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図のように初速度 $\vec{V}$（大きさ V）で，水平と 30° の角をなす方向へ物体を投げ上げた。重力加速度の大きさを g，物体の運動の出発点を原点とし，図のように水平方向右向きに x 軸，鉛直方向上向きに y 軸をとる。空気の抵抗は無視することとし，次の各問に答えなさい。



⑴　初速度 $\vec{V}$ の x 成分 V_x，y 成分 V_y を求めなさい。

⑵　時間 t 後の物体の速度を $\vec{v}$（大きさ v）とするとき，この x 成分 v_x，y 成分 v_y，物体の位置の座標 x，y を V，g，t で表しなさい。

⑶　上昇した最高の高さ h を V，g で表しなさい。

⑷　地面に落下したときの水平到達距離 R を V，g で表しなさい。

⑸　出発してから時間 t 経過したときの物体の速さを v とする。この速度の方向が水平となす角を α としたときの $\tan\alpha$ を V，g，t で表しなさい。

⑹　物体の軌跡を表す式を求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第１講　確認テスト

次の文の[1]～[10]に入れるのに最も適した答を，それぞれの解答群の中から一つずつ選べ。

x 軸上を，x 軸の正の向きに，等速直線運動をしていた小物体 A が原点 O を通過した直後，その速さ v [m/s] を変化させた。A が原点 O を通過した瞬間を時刻 $t=0$ [s] とし，この時刻からの v の時間変化を測定したところ，下記の表のようになった。v の時間変化を表す図は[1]である。[2]を物体の加速度というので，図[1]より，A の加速度 a [m/s^2] の時間変化を表す図は[3]であることが分かる。A は $t=0$ [s] から $t=$ [4] [s] の間，[5]直線運動をするので，この間の A の位置 x [m] は $x=$ [6]で与えられる。$t=10$ [s] における A の位置は $x=$ [7] [m] である。A は $t=10$ [s] から $t=15$ [s] の間，[8]直線運動をするので，この間の A の位置は $x=$ [9]で与えられる。これらのことを考慮すると，A の位置 x の時間変化を表す図は[10]となることが分かる。

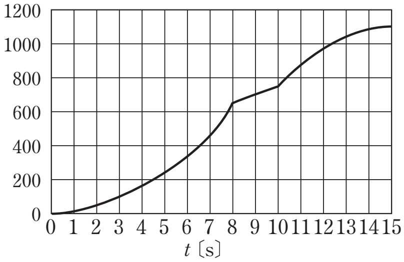
表：A の速さ v の時間変化

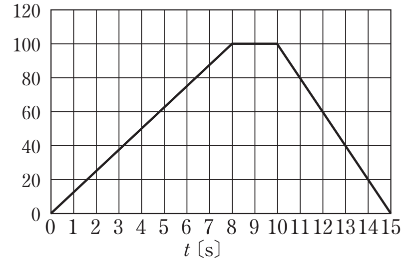
t [s]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
v [m/s]	20	30	40	50	60	70	80	90	100	100	100	80	60	40	20	0

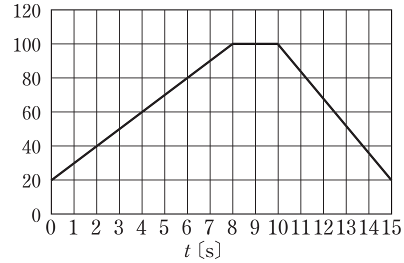
©RECRUIT HOLDINGS

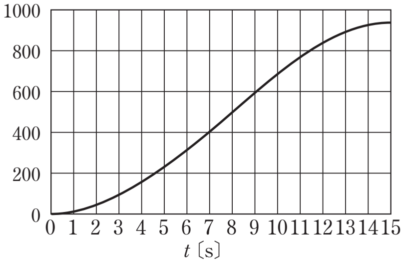
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

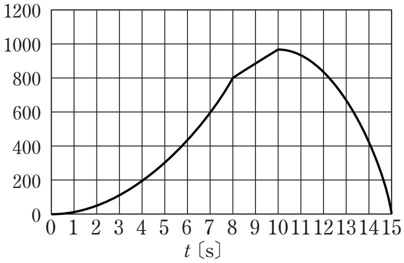
1 , 3 , 10 の解答群

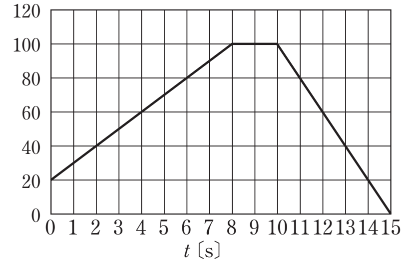
(ア)


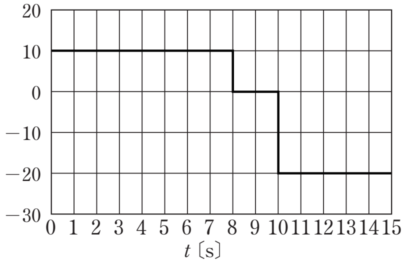
(イ)


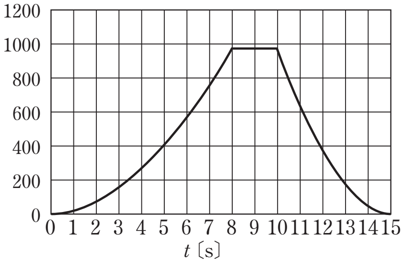
(ウ)


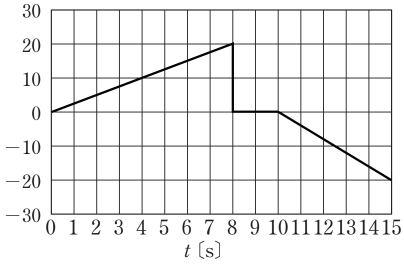
(エ)


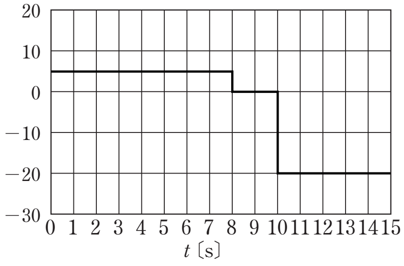
(オ)


(カ)


(キ)


(ク)


(ケ)


(コ)


©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

| 2 |の解答群

(ア)　単位時間あたりの位置の変化　(イ)　基準点からの距離の変化
(ウ)　単位時間あたりにする仕事の量　(エ)　単位時間あたりの速度の変化

| 4 |の解答群

(ア)　8　(イ)　9　(ウ)　10　(エ)　11　(オ)　12

| 5 |, | 8 |の解答群

(ア)　負の向きで大きさ 10 [m/s^2] の等加速度の
(イ)　負の向きで大きさ 20 [m/s] の等速度の
(ウ)　負の向きで大きさ 20 [m/s^2] の等加速度の
(エ)　負の向きで大きさ 100 [m/s] の等速度の
(オ)　正の向きで大きさ 10 [m/s^2] の等加速度の
(カ)　正の向きで大きさ 20 [m/s] の等速度の
(キ)　正の向きで大きさ 20 [m/s^2] の等加速度の
(ク)　正の向きで大きさ 100 [m/s] の等速度の

| 6 |, | 9 |の解答群

(ア)　$20+5t^2$　(イ)　$20t+5t^2$
(ウ)　$40t+7.5t^2$　(エ)　$20+20t-5t^2$
(オ)　$1000-20t+10t^2$　(カ)　$680+100t+10t^2$
(キ)　$-930+400t-5t^2$　(ク)　$480-100t-10t^2$
(ケ)　$-1320+300t-10t^2$

| 7 |の解答群

(ア)　1060　(イ)　680　(ウ)　800　(エ)　1000　(オ)　480

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第２講　力のつりあい

1

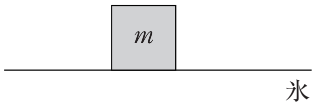
次の図の状態のとき，物体にかかる力を矢印で図示せよ（なお，図中の m，M は物体の質量である）。

(1)　(ア)　氷上で止まっている物体

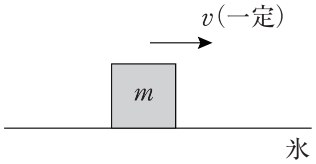
　　(イ)　氷上を等速ですべっている物体

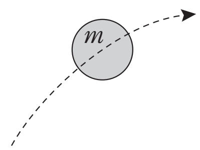
(2)　投げられたボール

(ア)

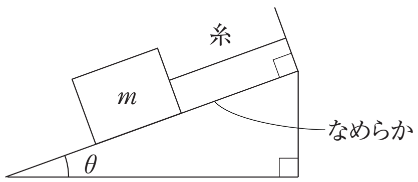


(イ)

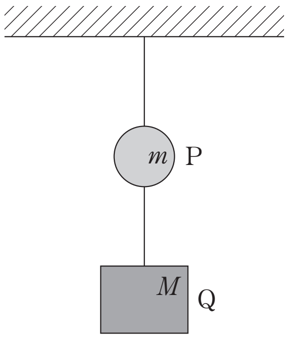




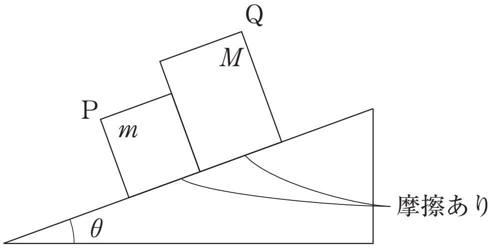
(3)　なめらかな斜面上に置かれた物体



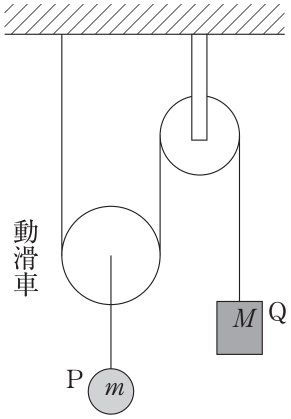
(4)　糸でつるされた物体



(5)　摩擦のある斜面上に置かれた物体



(6)　滑車でつるされた物体



©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

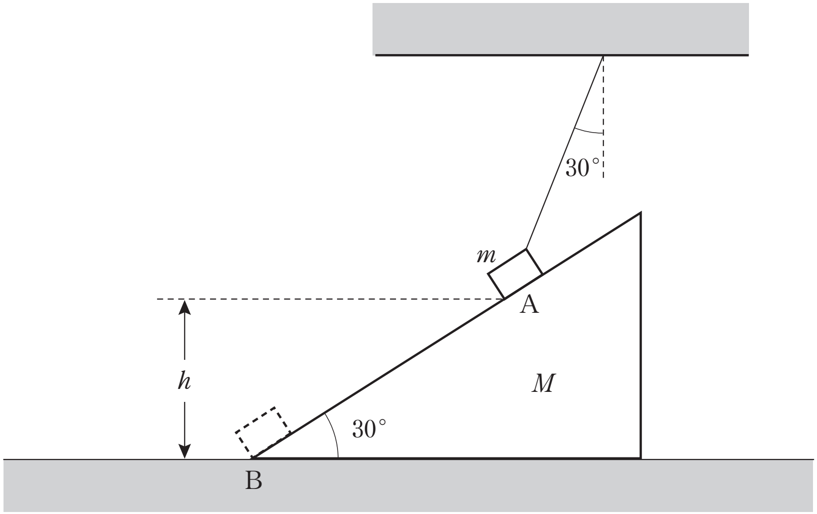
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

　図のように，水平な粗い床の上に，なめらかな斜面を持つ台が置かれている。台は質量が M [kg] で，底面と斜面のなす角度は 30° である。質量 m [kg] の小物体が，一端が天井に固定された糸で斜め上方に引張られ，斜面上の A の位置で静止している。このとき台は床との間の摩擦力で静止しているものとする。小物体の床からの高さは h [m] であり，糸と鉛直方向のなす角度は 30° である。ただし，糸は伸び縮みせず，質量が無視できるものとする。重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。



　小物体が糸により斜面上に図のように静止しているとき，次の問に答えよ。

(1)　糸の張力の大きさ T [N] および小物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさ N [N] を求めよ。

(2)　台が床から受ける垂直抗力の大きさ P [N] と静止摩擦力の大きさ R [N] を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

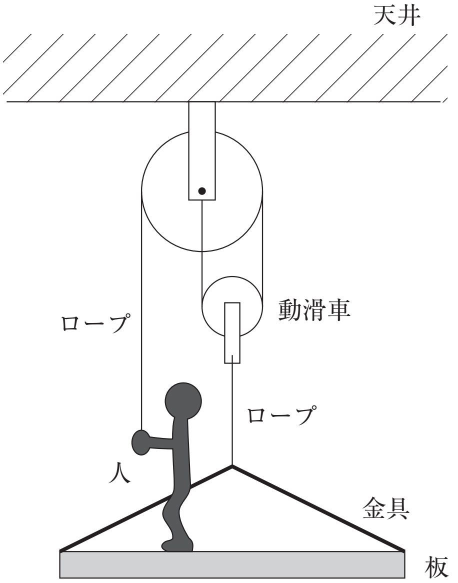
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図のように，滑車にかけたロープの一端を，板上の人が落ちないように引っ張っている。人の質量は 60 [kg]，板と板をつるしている金具の質量は合わせて 10 [kg]，動滑車の質量は 8 [kg] である。ロープの質量および滑車とロープとの間の摩擦は無視でき，またロープは滑車にかかっている部分を除きすべて鉛直になっているものとして，以下の問に答えよ。ただし，重力加速度の大きさを g [m/s^2] とし，板は水平を保ったままで，回転する可能性はないものとする。



⑴　人がロープを引いている力の大きさを求めよ。

⑵　人が板から受けている力の大きさを求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第２講　確認テスト

空欄 (1) ～ (12) にあてはまる答えとして最も適当なものを各解答群から一つ選び，その記号をマークせよ。

図において鉛直上向きを座標軸の正とし，重力加速度の大きさを g として次の問に答えよ。

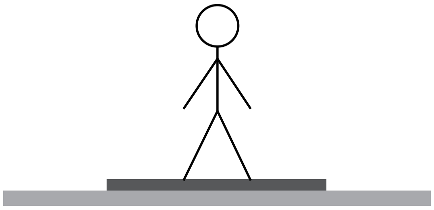


図１

図１のように地上に置かれた質量 M の板の上に質量 m の人が立っている。

問１　人に働く重力 W，人が板から受ける垂直抗力 N_1，地面が板に及ぼす力 N_2 を求めよ。

W：(1)　　N_1：(2)　　N_2：(3)

(1)～(3)の解答群

① Mg　② mg　③ $(m+M)g$　④ $-Mg$
⑤ $-mg$　⑥ $-(m+M)g$　⑦ $(m-M)g$　⑧ $(M-m)g$

次に，図２のように質量の無視できるロープを板に結びつけ軽いなめらかな滑車にかけて，その一端を，板の上に立っている人が下向きに力 T で引っ張った。このとき人も板も静止したままだった。

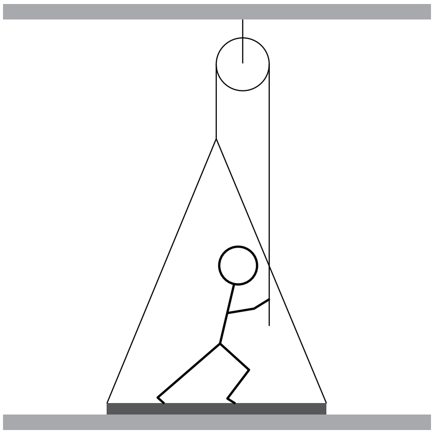


図２

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問２　このとき，人に働く力のつりあいの式と板に働く力のつりあいの式を求めよ。

ただし，前問と同様に人が板から受ける垂直抗力を N_1，地面が板に及ぼす力を N_2 とする。

人に働く力のつりあい：［(4)］＋［(5)］$-mg=0$

板に働く力のつりあい：［(6)］＋［(7)］＋［(8)］$-Mg=0$

(4)，(5)，(6)，(7)，(8)の解答群

①　T　②　$-T$　③　N_1　④　$-N_1$　⑤　N_2　⑥　$-N_2$

上のつりあいの式より N_1，N_2 を求めよ。

$N_1=$［(9)］＋［(10)］　　$N_2=$［(11)］＋［(12)］

(9)，(11)の解答群

①　0　②　T　③　$2T$　④　$3T$　⑤　$-T$　⑥　$-2T$

⑦　$-3T$

(10)，(12)の解答群

①　Mg　②　mg　③　$(m+M)g$　④　$-Mg$

⑤　$-mg$　⑥　$-(m+M)g$　⑦　$(m-M)g$　⑧　$(M-m)g$

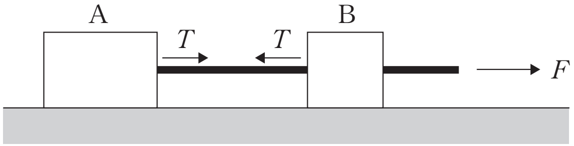
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第３講　運動方程式

1

なめらかな水平面上に置かれた質量 M の物体Ａと質量 m の物体Ｂが，図のように軽くて伸びない糸でつながれている。重力加速度の大きさを g として次の設問に答えよ。



物体Ｂを水平面に平行に大きさ F の力で右向きに静かに引いたら，物体Ａ，Ｂは大きさ a の加速度で動いた。

(1)　物体ＡとＢの間の糸の張力の大きさを T とする。物体Ａと物体Ｂの運動方程式を立てよ。

(2)　このときの a を F, m, M を用いて表せ。

(3)　このときの T を M, m, F を用いて表せ。

(4)　つぎに物体ＡとＢを，床との動摩擦係数が μ' の平面上に移し，Ｂを平面に水平に大きさ F' の力で右向きに静かに引いたら，Ａ，Ｂは一定の加速度で動いた。このときのＡとＢの間の糸の張力の大きさを M, m, F' を用いて表せ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図1に示すように，水平な床面と角度θをなす滑らかな斜面を固定し，この斜面上に質量M_Aの物体Aをのせた質量M_Bの台車Bを置く。物体Aと台車Bの上方の壁は糸でつながれており，物体Aの下端から台車Bの下方の壁までの距離はLである。台車Bの上端につけた細いひもの他端に滑車Pを通して質量M_CのおもりCをつり下げたところ，全体がつりあって静止した。滑車は軽くて滑らかに回転でき，糸やひもの質量は無視できるとする。重力加速度の大きさはgである。以下の文章中の[①]〜[③]には数値とM_A，M_B，θ，gを用い，[④]〜[⑨]には数値とM_B，M_C，θ，g，t_0を用いた適当な数式を記入せよ。なお，物体Aと台車Bの速度，加速度は斜面上向きを正とし，おもりCの速度，加速度は鉛直下向きを正とする。

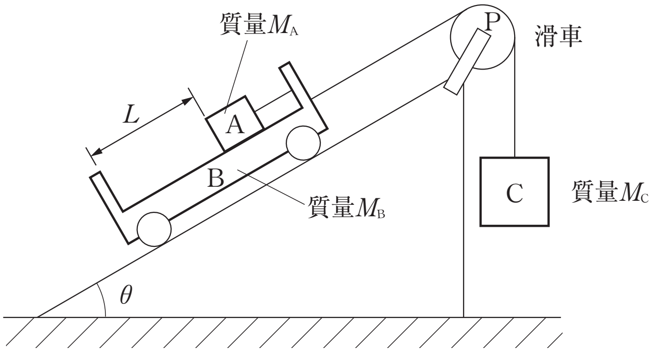


図1

(1)　糸が物体Aを引く力は$T_1=$[①]となる。

(2)　ひもが台車Bを引く力は$T_2=$[②]となる。

(3)　M_A，M_B，M_Cの間に成立する関係式は$M_C=$[③]となる。

次に，物体Aと台車Bの上方の壁をつないでいた糸が突然切れて，物体Aは滑らかな台車上を斜面に平行に下方に滑り始め，台車Bは斜面上を上方に向かって動き始めた。

(4)　糸が切れたあと，斜面からみた物体Aの加速度の大きさは$a_A=$[④]となる。

(5)　糸が切れたあとも，台車BとおもりCはひもでつながれているので，同じ大きさの加速度a_{BC}で運動する。台車BおよびおもりCをひもが引く力は等しく，その大きさをT_3とすると，台車BおよびおもりCの運動方程式は

$M_B\, a_{BC}=T_3-$[⑤]

$M_C\, a_{BC}=$[⑥]$-T_3$

となる。

(6)　(5)で求めた2つの式から，a_{BC}，T_3を求めると，$a_{BC}=$[⑦]，$T_3=$[⑧]となる。

(7)　糸が切れて時間t_0経過後に物体Aが台車Bの下方の壁に衝突した。このとき，糸が切れる前の物体Aの下端から台車Bの下方の壁までの距離は$L=$[⑨]である。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

質量と大きさが等しい均質な三つの直方体形の物体A，B，Cを，図1に示すように端をそろえて積み重ね，水平で滑らかな床の上に置き，中央の物体Bにひもをつけて一定の大きさの力で水平右向きに引っ張る。AとBの間及びBとCの間の動摩擦係数は等しいとし，μ' とする。また，Cと床との間に働く摩擦力は無視する。各物体の質量を m，重力加速度を g，物体の長さを l として次の問に答えよ。

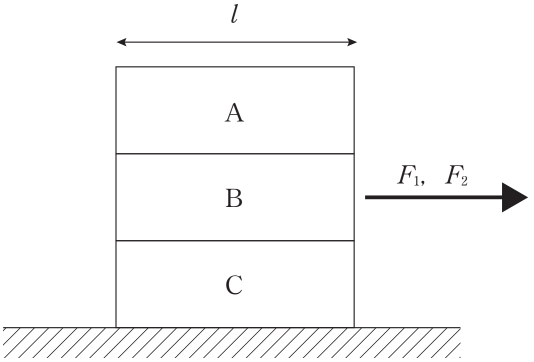


図1

問1　大きさ F_1 の力で引っ張ったところ，A，B，Cは一体となって運動した。

(1)　物体の加速度の大きさを求めよ。

(2)　AとBの間，及びBとCの間に働いている摩擦力の大きさをそれぞれ求めよ。

(3)　静止の状態から水平距離 d 進んだ時点での物体の速さを求めよ。

問2　大きさ F_2 の力で引っ張ったところ，AとB，BとCの間でそれぞれ滑り運動が生じた。ただし，三つの物体はそれぞれ隣り合う物体と面を接して運動しているとする。

(1)　A，B，Cのそれぞれの加速度の大きさを求めよ。

(2)　Aの長さの半分がBに接している瞬間に，Cに接しているBの部分の長さを求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第３講　確認テスト

以下の［1］から［7］にあてはまる答えを各解答群から１つ選び，マークせよ。ただし，同じ番号をくり返し用いてもよい。数値を選ぶ場合はもっとも近い値を選ぶものとする。

(1)

図１のように，なめらかな水平面Ｈ上に質量 M_1 の物体Ａと質量 M_2 の物体Ｂが軽くて伸び縮みしない糸Ｋでつながれて水平面内の x 軸上を運動している。物体Ａには x 軸の正の向きの力が働き，糸Ｋはたるまず，物体Ａ，Ｂの加速度は同じ値である。

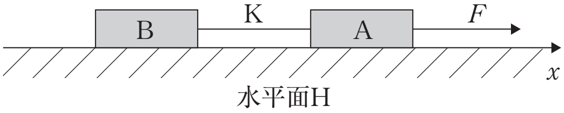


図１

物体Ａに働く力の大きさを F，糸Ｋの張力の大きさを T とし，物体Ａと物体Ｂの x 方向の加速度を a とすると，物体Ａ，Ｂの x 方向の運動方程式は，それぞれ，$M_1a=$［1］，$M_2a=$［2］となる。これらを解くと，物体Ａ，Ｂの x 方向の加速度は $a=$［3］，張力の大きさは $T=$［4］となる。

［1］，［2］の解答群

① F　② $F+T$　③ $F-T$　④ T
⑤ $-T$　⑥ $F+2T$　⑦ $F-2T$　⑧ 0

［3］，［4］の解答群

① $\dfrac{F}{M_1+M_2}$　② $\dfrac{M_1+M_2}{F}$　③ $\dfrac{FM_1}{M_1+M_2}$　④ $\dfrac{FM_2}{M_1+M_2}$
⑤ $\dfrac{F}{M_1}$　⑥ $\dfrac{F}{M_2}$　⑦ $\dfrac{FM_1}{M_2}$　⑧ $\dfrac{FM_2}{M_1}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)

　図２のように，あらい水平面Ｉ上に質量 M_1 の物体Ａと質量 M_2 の物体Ｂが重なって水平面内の x 軸上を運動している。物体Ａには x 軸の正の向きに大きさが F の力が働いている。BI 間の動摩擦係数は $\frac{\mu}{2}$ である。また，重力加速度の大きさを g とする。

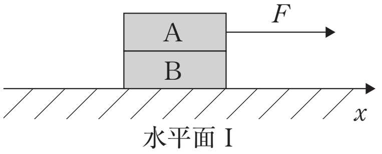


図２

物体Ａ，Ｂの x 方向の加速度をそれぞれ a_1，a_2 とし，ＢがＡにおよぼす摩擦力の大きさを f_{AB}，ＩがＢにおよぼす摩擦力の大きさを f_{BI} とすると，物体Ａ，Ｂの x 方向の運動方程式はそれぞれ，$M_1a_1=$ [5]，$M_2a_2=$ [6] となる。

　F がじゅうぶん小さいとき，物体Ａ，Ｂは互いにすべることなく一体となって，x 方向の加速度 a で水平面Ｉ上を運動した。このときの加速度は $a=$ [7] である。

[5], [6] の解答群

① F　② $-F$　③ $F+f_{AB}$　④ $F-f_{AB}$

⑤ f_{AB}　⑥ $-f_{AB}$　⑦ $f_{AB}+f_{BI}$　⑧ $f_{AB}-f_{BI}$

[7] の解答群

① μg　② $-\frac{\mu g}{2}$　③ $\frac{F}{M_1}+\mu g$　④ $\frac{F}{M_1}-\frac{\mu g}{2}$

⑤ $\frac{F}{M_2}+\mu g$　⑥ $\frac{F}{M_2}-\frac{\mu g}{2}$　⑦ $\frac{F}{M_1+M_2}+\mu g$　⑧ $\frac{F}{M_1+M_2}-\frac{\mu g}{2}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第4講　摩擦力

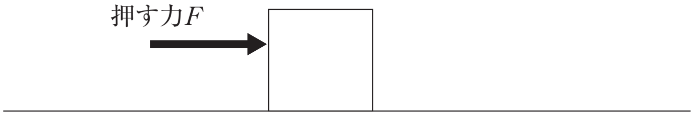
1

［A］

図のように粗い面上に重さ 100［N］の物体をおき，図の左方から適当な大きさ F［N］の力を水平に加える。物体と面の間の静止摩擦係数を 0.5，動摩擦係数を 0.2 として以下の問に答えよ。

(1)　$F=30$［N］の力を加えたが，物体は動かなかった。摩擦力の大きさ R［N］はいくらか。

(2)　横軸に F［N］，縦軸に R［N］をとり，押す力 F［N］と摩擦力の大きさ R［N］の関係を表すグラフを書け。

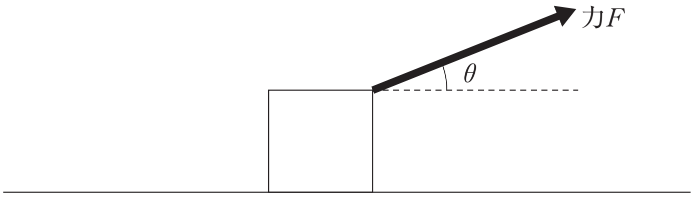


［B］

図のように粗い面上に質量 m の物体をおき，図の左方から適当な大きさ F の力を水平方向からはかって θ の方向に加える。重力加速度を g，物体と面の間の静止摩擦係数を μ，動摩擦係数を μ' とする。

(1)　ある大きさの力 F を加えたら，物体は床上をすべりだした。物体が動き出す直前の力 F の大きさはいくらか。

(2)　その後力 F の大きさを調節すると，物体は床上を等速度運動をした。このときの力 F の大きさはいくらか。



©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

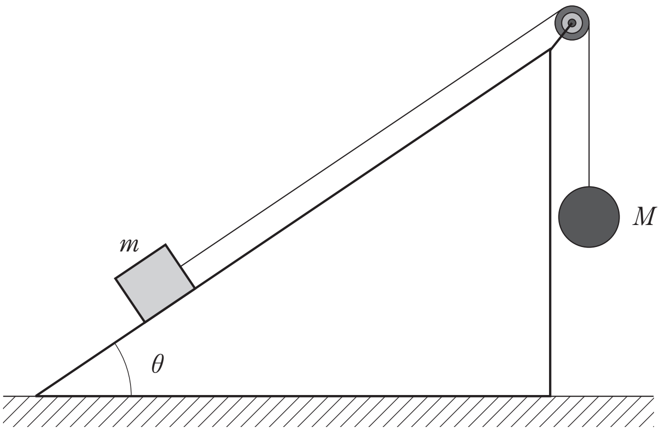
2

図のように，傾きの角がθのあらい斜面の上に質量m，斜面との静止摩擦係数μの物体がある。物体に軽くて伸びない糸を付け，頂点に固定した軽い滑車に通し，糸の端に質量Mのおもりをつるす。重力加速度の大きさをgとして次の問に答えよ。

(1)　糸の張力の大きさを求めよ。

(2)　物体が滑り落ちないためには，おもりの質量Mはいくら以上でなければならないか。

(3)　物体が滑り上がらないためには，おもりの質量Mはいくら以下でなければならないか。



ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

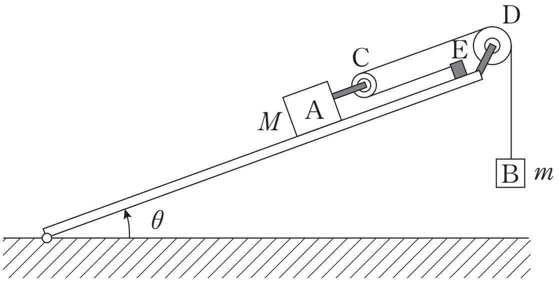
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図のように，水平面に対して傾き角 θ を０から $\frac{\pi}{2}$ [rad] の範囲で変化させることができる斜面があり，物体 A，物体 B が，滑車 C，滑車 D および糸をかいして結ばれており，糸の一端は斜面上の点 E に固定されている。滑車 C は物体 A に取り付けられており，滑車 D は斜面の上端部に固定されている。物体 A の質量は M [kg]，物体 B の質量は m [kg] であり，物体 A は斜面に沿って運動し，物体 B は鉛直方向に運動する。物体 A と斜面との静止摩擦係数は μ，重力加速度の大きさは g [m/s^2] である。糸および滑車の質量は無視でき，滑車の回転はなめらかであるとする。はじめ，２つの物体は静止しており，この状態から斜面の傾きをゆっくりと大きくしていくと，角度 θ が θ_0 [rad] を越えたときに，物体 A は斜面に沿って下向きに滑り出し，物体 B は鉛直上向きに運動を開始した。以下の文章の空欄 (ア) ～ (エ) を本問題中で与えられている記号のうち，必要なものを使ってうめよ。なお，計算の途中経過は不要であり，答のみを解答欄に記入すること。



２つの物体が動き出す直前の $\theta=\theta_0$ の状態について考えると，物体 A に対して斜面に沿って上向きに作用する静止摩擦力の大きさは (ア) [N] であるから，糸の張力の大きさを T_0 [N] とすれば，物体 A に関する斜面に平行な方向の力のつりあい式は (イ) となる。同様に，物体 B に関する鉛直方向の力のつりあい式を糸の張力の大きさ T_0 を用いて表せば (ウ) となる。これらの結果より，静止摩擦係数 μ を２つの物体の質量 M，m と角度 θ_0 を用いて表すと，$\mu=$ (エ) となる。

©RECRUIT HOLDINGS

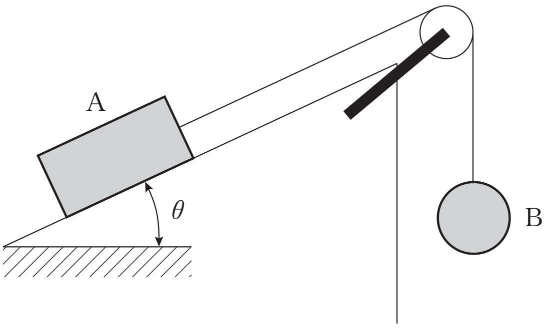
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第4講　確認テスト

水平から角θだけ傾いた粗い斜面に質量Mの物体Aを置き，これに伸び縮みしない軽い糸をつなぎ，この糸を図のように滑らかに動く軽い滑車に通し，糸の他端に質量mの物体Bをつなげた。斜面と物体Aとの間の静止摩擦係数をμ，動摩擦係数をμ'，重力加速度をgとして，次の問に答えよ。



(1)　物体AとBは静止し，全く動こうとしなかった。このとき，物体Aに働く摩擦力はいくらか。ただし，摩擦力の向きは斜面下向きとし，斜面と物体Aとの間の静止摩擦係数をμとする。

① $\mu Mg\cos\theta$　② $\mu Mg\sin\theta$
③ $\mu Mg\tan\theta$　④ $mg-Mg\cos\theta$
⑤ $mg-Mg\sin\theta$　⑥ $mg-Mg\tan\theta$

(2)　物体AとBが静止しているためには，物体Bの質量は［ア］$\leqq m \leqq$［イ］をみたさなければならない。［　］にあてはまるものを答えよ。

① $\mu Mg\cos\theta$　② $\mu Mg\sin\theta$
③ $M(\sin\theta-\mu\cos\theta)$　④ $M(\sin\theta+\mu\cos\theta)$
⑤ $M(\sin\theta+\mu'\cos\theta)$　⑥ $M(\sin\theta-\mu'\cos\theta)$

(3)　物体Bの質量を調節して，物体Bが鉛直下向きに運動しているとき，物体Bの加速度の大きさはいくらか。

① $\dfrac{m-\mu' M\sin\theta}{m+M}g$　② $\dfrac{m-\mu' M\cos\theta}{m+M}g$
③ $\dfrac{m\cos\theta-\mu' M\sin\theta}{m+M}g$　④ $\dfrac{m\sin\theta-\mu' M\cos\theta}{m+M}g$
⑤ $\dfrac{m-M\sin\theta-\mu' M\cos\theta}{m+M}g$　⑥ $\dfrac{m-M\cos\theta-\mu' M\sin\theta}{m+M}g$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

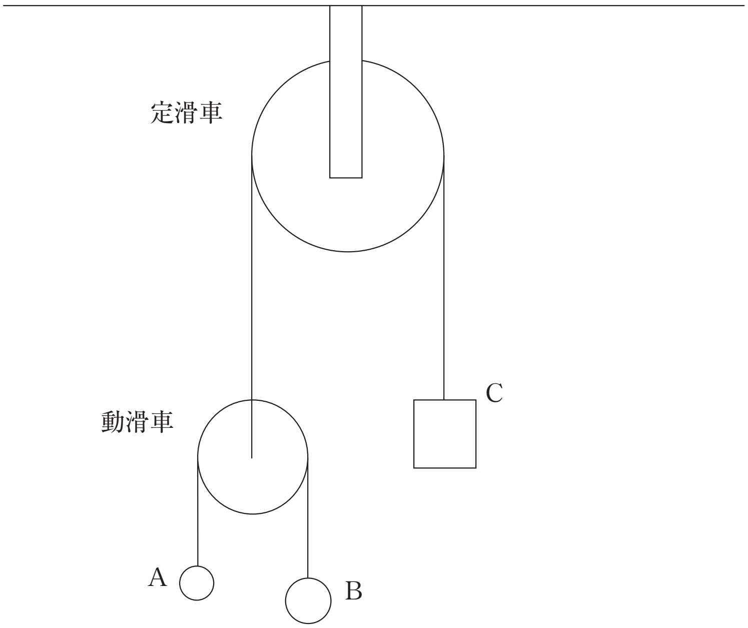
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第５講　束縛条件

1

図のように，動滑車に通した糸により質量 m の物体 A と質量 $2m$ の物体 B をつなぎ，さらに定滑車を介して動滑車と質量 $3m$ の物体 C をつなげる。

静止させた状態から手をはなすと，３つの物体および動滑車は運動し始めた。物体 A，B，C それぞれの，床から見た加速度を求めよ。ただし，A，B の加速度は鉛直下向きを正，C の加速度は鉛直上向きを正の向きとする。また，動滑車の質量は無視でき，重力加速度の大きさを g とする。



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

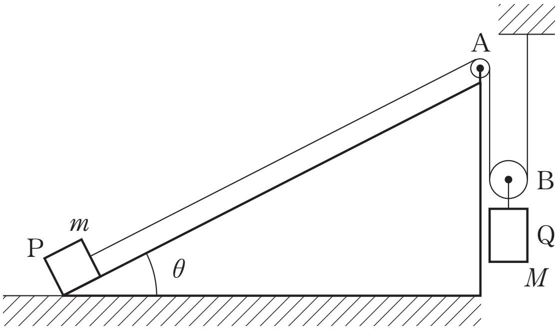
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，水平面と傾斜角 θ のあらい斜面の最下点に質量 m の小物体Ｐを置く。軽くて伸び縮みしない糸の一端をＰに結び，糸を定滑車Ａと動滑車Ｂに通し，他端を天井に結んだ。つぎに，Ｐを手で固定し，動滑車Ｂに質量 M のおもりＱを静かにつるした。滑車Ａ，Ｂはなめらかに回転し，その質量はいずれも無視できるものとする。

Ｐから静かに手を放すと，Ｑは鉛直方向に下降し，Ｐは斜面に沿って上昇した。Ｐと斜面との静止摩擦係数を μ，動摩擦係数を μ'，重力の加速度の大きさを g とする。以下の問に答えよ。



⑴　Ｐが上昇するために必要な条件を M，m，μ，θ を用いて表せ。

⑵　斜面上向きを正，Ｐの加速度を a_1，糸の張力の大きさを T として，Ｐの運動方程式を表せ。

⑶　鉛直下向きを正，Ｑの加速度を a_2，糸の張力の大きさを T として，Ｑの運動方程式を表せ。

⑷　a_1 と a_2 の関係を示せ。

⑸　a_1 を M，m，μ'，θ，g を用いて表せ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

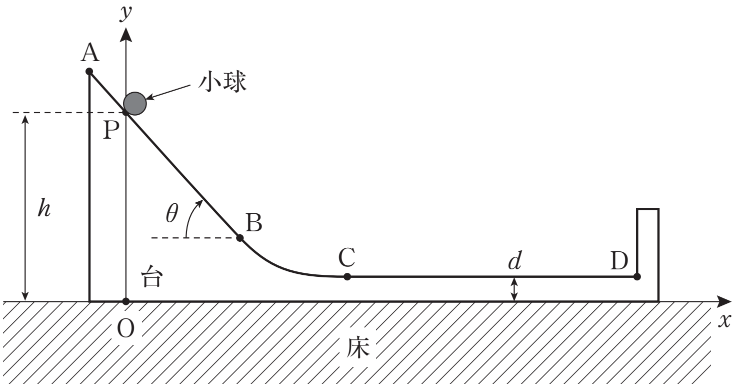
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図のように質量 M の台を摩擦の無い水平な床の上に置いた。台の上面は，水平面と一定の角度 θ をなす斜面 AB，曲面 BC，水平面 CD からなる。曲面 BC は，B および C でそれぞれ斜面 AB, 水平面 CD となめらかにつながっている。台を床に対して静止させた状態で，大きさが無視できる質量 m の小球を斜面 AB 上の点 P に置いた後，小球から静かに手を離した。台の上面と小球の間に摩擦は働かないとして，台と小球の運動について考える。

床上の点 O を座標の原点にとり，図の水平右向きを x 軸の正方向，鉛直上向きを y 軸の正方向とし，小球から手を離す前の小球および P の x 座標をゼロとする。床から測った P の高さを h，台の水平部分の厚さを d，重力加速度を g とする。以下の問に答えよ。



(1)　小球が B を初めて通過するまでの任意の時刻における，小球の x 方向の加速度 a_x，y 方向の加速度 a_y，および台の x 方向の加速度 b_x を，m，M，θ，g および小球が斜面から受ける抗力の大きさ N の中から必要なものを用いて表せ。ただし加速度は全て床に対するものとする。

(2)　小球が B を初めて通過するまでの任意の時刻における，小球の x 座標を x_1，y 座標を y_1，斜面 AB 上の点 P の x 座標を x_2 とする。

(a)　小球が斜面 AB 上を運動することから x_1，y_1，x_2 の間に成り立つ関係式を m, M, g, θ，h，d の中から必要なものを用いて表せ。

(b)　この間，N は時間によらず一定である。このことを用いて N および加速度 a_x，a_y，b_x を，m，M，g，θ の中から必要なものを用いて表せ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

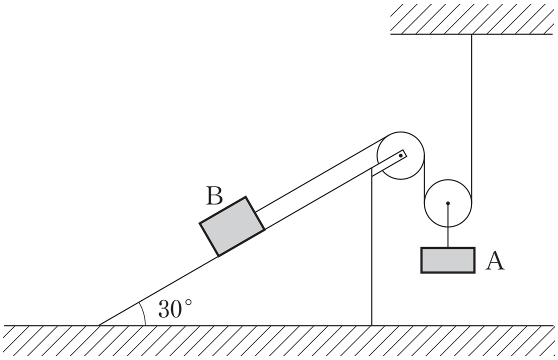
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第5講　確認テスト

次の文の［a］，［b］および［あ］から［お］に入れるのに最も適当なものを解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを2回以上用いてもよい。なお，重力加速度の大きさを g とする。

図に示すように，質量 M の物体Aが動滑車につるされており，傾きの角 30° のなめらかな斜面上におかれた質量 m の物体Bは軽くて伸び縮みしない糸で定滑車と動滑車を介して天井につながれている。定滑車と動滑車は，いずれも軽くてなめらかに回転するものとし，動滑車をつり下げている糸の方向は鉛直とする。

AとBがつりあって静止する条件は，$\dfrac{Mg}{2}=$［あ］であるから，M が m の［a］倍より大きくなるとAは下降する。以下ではAが下降する運動を考える。Aが h だけ下がったとき，Bは斜面上を［b］$\times h$ だけ斜め上に移動する。下降中のAの加速度の大きさを a，糸の張力の大きさを F とすると，Aの運動方程式は鉛直下向きを正として $Ma=$［い］，Bの運動方程式は斜面にそって上向きを正として［b］$\times ma=$［う］となるから，$a=$［え］$\times g$，$F=$［お］$\times Mg$ となる。



［a］と［b］の〔解答群〕

① $\dfrac{1}{\sqrt{3}}$　② $\dfrac{1}{2}$　③ 1　④ 2　⑤ $\sqrt{3}$

［あ］，［い］，［う］の〔解答群〕

① $\dfrac{Mg}{2}$　② $\dfrac{mg}{2}$　③ $mg-2F$　④ $Mg-2F$

⑤ $F-\dfrac{mg}{2}$　⑥ $F-\dfrac{Mg}{2}$　⑦ $\dfrac{mg}{2}-F$　⑧ $\dfrac{Mg}{2}-F$

［え］，［お］の〔解答群〕

① $\dfrac{M-m}{M+2m}$　② $\dfrac{M-m}{M+4m}$　③ $\dfrac{M+m}{M+4m}$　④ m

⑤ $\dfrac{3M}{2(M+2m)}$　⑥ $\dfrac{3m}{2(M+2m)}$　⑦ $\dfrac{5M}{2(M+4m)}$　⑧ $\dfrac{5m}{2(M+4m)}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第6講　力のモーメント

1

［A］　図1のように，長さ 1.8［m］の重さの無視できる軽い棒 AB の中点 M に重さ 20［N］のおもりをのせ，天井からつるした軽いひもを端 A に固定し，端 A から 1.0［m］のところの点 C に支点をおいて支えたところ，棒は水平となってつりあった。このとき，棒がひもから受ける力の大きさは［ア］［N］であり，点 C で支点から受ける力の大きさは［イ］［N］である。［　］に当てはまる数値を答えよ。

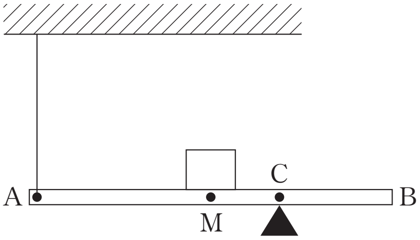


図1

［B］　断面が正三角形，質量 M の均一な物質でできた三角柱を滑りにくい水平な机の上に置いた。その上端中央に糸をつけ，静かに水平に引っ張ったところ，滑らずに一端が床から離れた。離れるときの糸の張力を質量 M，重力加速度 g で表しなさい。

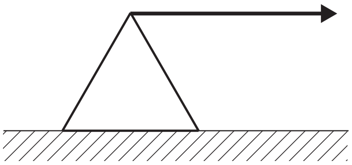


図2

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図1のように，なめらかな鉛直壁と水平なあらい床との間に，質量 M，長さ l の一様な細い棒が水平から θ の角をなすように立てかけた状態で静止している。棒は点Aで壁に接し，点Bで床に接している。また，点Gは棒の重心の位置を示している。重力の加速度を g，棒と床との間の静止摩擦係数を μ として以下の問に答えよ。

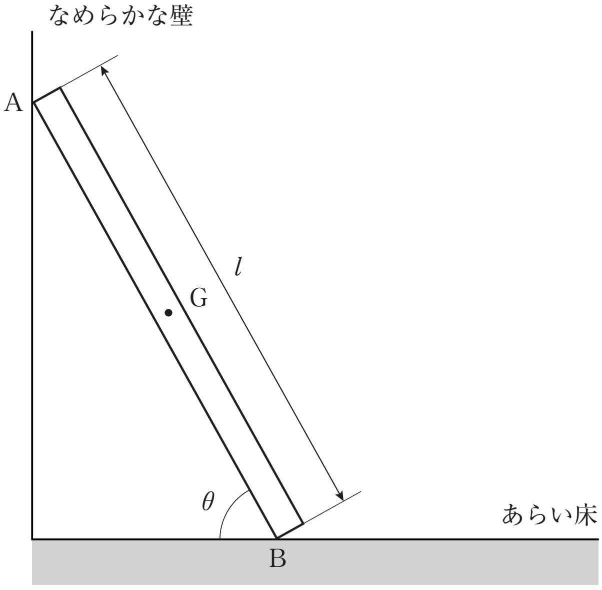


図1

問1　棒が点Aで壁から受ける垂直抗力の大きさを N_A，棒が点Bで床から受ける垂直抗力の大きさを N_B，棒と床との摩擦力の大きさを F_B とする。

⑴　図1と同じ図をノートに写し，棒に加わっているおのおのの力の作用点と方向を，ベクトルを用いてノートの図中に示せ。

⑵　点Bのまわりの力のモーメントのつり合いの式を示せ。

⑶　床から受ける垂直抗力の大きさ N_B を求めよ。

問2　棒と床との摩擦力の大きさ F_B を M，g，θ を用いて表せ。

問3　もし角度 θ がある値よりも小さければ，棒はすべりはじめる。棒がすべり出さないために必要な角度 θ の条件を不等式で示せ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問４　次に，図２のように，立てかけた棒が静止した状態で，棒の重心に水平な力 F を左向きに加えた場合を考えてみよう。

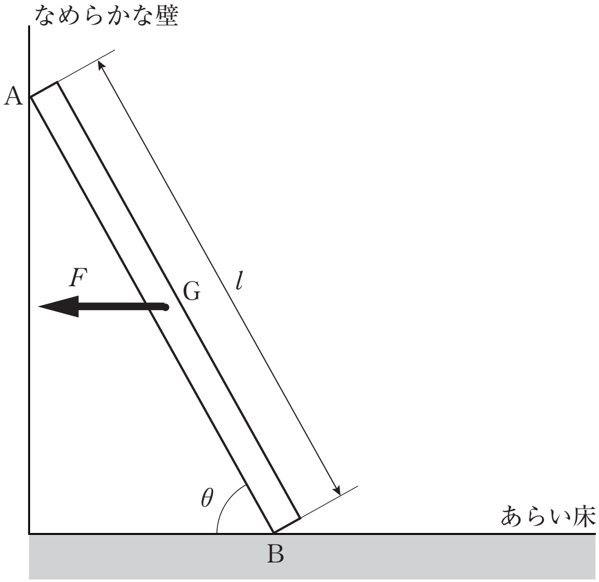


図２

⑴　図２と同じ図をノートに写し，棒が静止したままであるときに棒に加わっているおのおのの力の作用点と方向を，ベクトルを用いてノートの図中に示せ。また，それらの力の間に成り立つつり合いの式をすべて示せ。

⑵　加えた力の大きさ F がある値よりも大きいと棒はすべりはじめる。棒がすべり出さないために必要な F の条件を，M, g, θ, μ を用いて不等式で示せ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

以下の問題文を読んで[　　]の中に適当な式または数値を入れなさい。{　　}の中からは適当なものを選び，その記号を記入しなさい。ただし，棒の質量は無視でき，重力加速度を g [m/s^2] とする。

(1) 図1に示すように，長さ L [m] の棒の一端を壁上の点Aにつけ，他端（点B）には糸をつなぐ。棒は張力 T [N] で糸に引っ張られており，壁からは垂直抗力 N [N] を受け，壁との間に摩擦力 R [N] がはたらいている。さらに，棒には壁側から距離 a [m] のところに質量 m [kg] のおもりが付けられていて，棒と壁のなす角は常に90°に保たれた状態で静止している。なお，糸と棒のなす角 θ は糸の長さと壁上の点Cの位置を変えることにより変えられるものとする。

点Aのまわりの力のモーメントのつり合いから，糸にはたらく張力 T [N] の大きさは[1] [N] となる。これを用いると，棒にはたらく力のつり合いから，垂直抗力 N [N] の大きさは[2] [N]，摩擦力 R [N] の大きさは[3] [N] となる。

(2) 次に，糸の長さを調節して点Cの位置を壁上でずらして，$\theta=45°$ としたあと，おもりを $a=L$ [m] の位置（点B）につけた。おもりの位置をゆっくりと左に動かして $a=\frac{1}{2}L$ [m] となったとき，棒は静止したままだったが，これより少しでも左へ動かすと棒はすべりだした。棒と壁の静止摩擦係数を μ_0 とすると，最大静止摩擦力 R_{max} [N] は μ_0 と垂直抗力 N [N] を用いて，$R_{max}=$ [4] [N] と表される。$a=\frac{1}{2}L$ [m] のとき，摩擦力 R [N] は最大摩擦力 R_{max} [N] に等しいので，静止摩擦係数は $\mu_0=$ [5] であることがわかる。

(3) 次に，図2に示すように今度は糸をつける位置を棒の中央にして，点Bに質量 m [kg] のおもりをつけた。棒と壁のなす角は90°で静止した状態にある。このとき糸にはたらく張力 T [N] の大きさは[6] [N] となり，これを用いると，垂直抗力 N [N] の大きさは[7] [N]，摩擦力 R [N] の大きさは，[8] [N] となる。さらに糸の長さを調節して点Cの位置をずらして $\theta=60°$ としたとき，最大摩擦力 R_{max} の大きさは[9] [N] となるので，棒は[10 {(ア) 静止したままである，(イ) 棒はすべりだす}]。

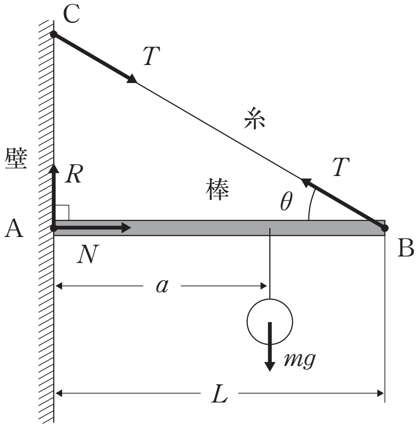


図1

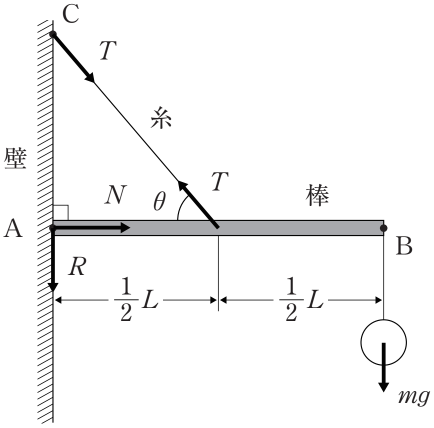


図2

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第６講　確認テスト

次の文章を読んで，後の問に答えなさい。なお，重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。

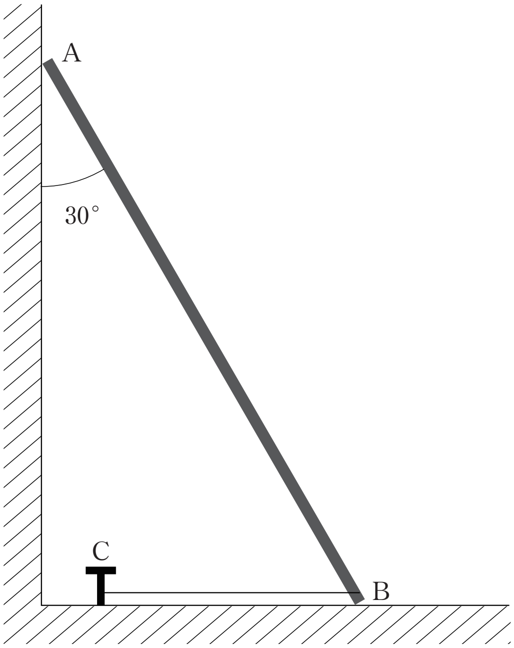
図のように，なめらかで水平な床となめらかで鉛直な壁に，長さ l [m]，質量 m [kg] のはしご AB が，水平なロープ BC で下端 B を支えることで壁となす角度を 30° に保って，立てかけられている。なお，はしごの質量の分布は一様であるとする。

はしご AB が，A 点で壁から受ける垂直抗力の大きさを N_A [N] とする。A 点での垂直抗力とはしごに作用する重力の，B 点のまわりの力のモーメントのつり合いの式は，

$-N_A \times$〔　1　〕$+ mg \times$〔　2　〕$=0$

と表すことができ，この式より N_A は〔　3　〕[N] と求められる。また，はしごが B 点で床から受ける垂直抗力の大きさは，鉛直方向の力のつり合いから〔　4　〕[N] である。また，水平方向の力のつり合いから，ロープ BC の張力は〔　5　〕[N] である。

はしご AB の重さの 2 倍の体重の人が，はしごの上端 A まで達するためには，ロープ BC は〔　6　〕[N] の張力に耐える必要がある。その人がはしごの上端 A に達したとき，はしごが B 点で床から受ける垂直抗力の大きさは〔　7　〕[N] である。



問１　空所〔　1　〕,〔　2　〕にあてはまる数式として最も適当なものを，次の中からそれぞれ一つ選びなさい。

① $\frac{1}{4}l$　② $\frac{\sqrt{3}}{4}l$　③ $\frac{1}{2}l$　④ $\frac{\sqrt{3}}{3}l$

⑤ $\frac{\sqrt{3}}{2}l$　⑥ l　⑦ $\frac{2\sqrt{3}}{3}l$　⑧ $2l$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問２　空所〔　3　〕,〔　4　〕,〔　5　〕にあてはまる数式として最も適当なものを，次の中からそれぞれ一つ選びなさい。

① $\dfrac{\sqrt{3}}{6}mg$　② $\dfrac{1}{2}mg$　③ $\dfrac{\sqrt{3}}{3}mg$　④ $\dfrac{\sqrt{3}}{2}mg$

⑤ mg　⑥ $\sqrt{3}\,mg$　⑦ $2mg$　⑧ $3mg$

問３　空所〔　6　〕,〔　7　〕にあてはまる数式として最も適当なものを，次の中からそれぞれ一つ選びなさい。

① $\dfrac{\sqrt{3}}{2}mg$　② $\dfrac{5\sqrt{3}}{6}mg$　③ $\dfrac{5\sqrt{3}}{2}mg$　④ $\dfrac{1}{2}mg$

⑤ $\dfrac{\sqrt{3}}{3}mg$　⑥ mg　⑦ $2mg$　⑧ $3mg$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第７講　仕事とエネルギー

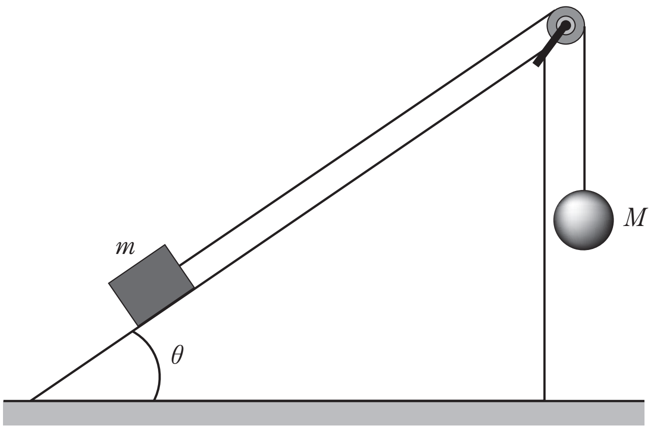
1

　図のように，傾きの角が θ のあらい斜面の上に質量 m の物体Ａがある。物体Ａと斜面との動摩擦係数は μ である。物体Ａに軽くて伸びない糸を付け，頂点に固定した軽い滑車に通し，糸の端に質量 M の物体Ｂをつるす。はじめ，物体Ｂは床から高さ h のところにあったとする。この状態で物体の固定を解くと，物体Ｂは下方へ動き出し，床に着いて動かなくなった。重力加速度の大きさを g として次の問に答えよ。

⑴　物体Ｂが床につくまでに，物体Ａに対して重力がした仕事 W_g，動摩擦力がした仕事 W_R，垂直抗力がした仕事 W_N を求めよ。

⑵　物体Ｂが床につく直前の，物体Ａの速さはいくらか。

⑶　物体Ｂが床についた後，物体Ａはどれだけ斜面を上るか。



©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

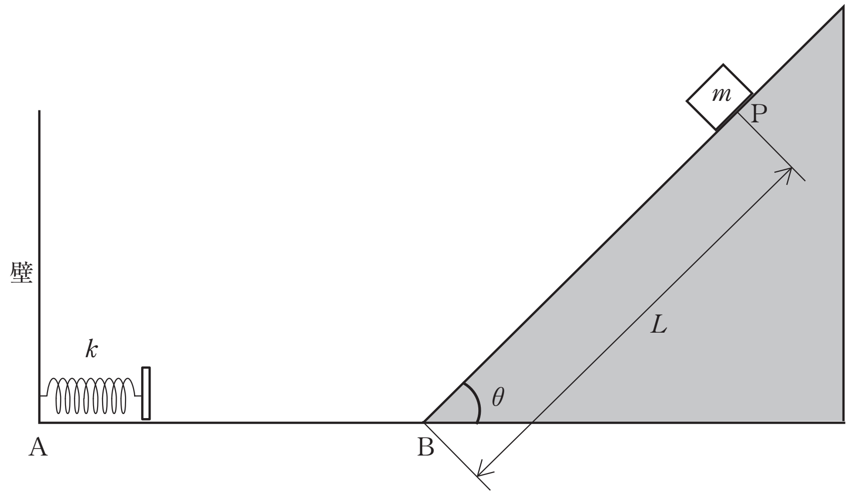
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

以下の文章中の□に適切なものを選択肢から選びなさい。

あらい斜面BPが摩擦のない水平面ABと点Bでなめらかにつながっている。点Aには壁があり，ばね定数kの軽いばねの一端が固定されている。点Bから長さL離れた点Pに質量mの物体を置き，静かにはなすと物体がすべり出し，物体は点Bを通過したのちに，ばねの一端に到達し，ばねを縮めた。物体とあらい斜面との静止摩擦係数をμとすると，物体がすべり出すための条件は (1) である。物体とあらい斜面との動摩擦係数をμ'とすると，物体が点Bを通過するときの速さは (2) ，ばねの自然長から縮められた長さは (3) である。縮められたばねが物体を押し戻すと，物体は水平面をすべったのちに，斜面を上がり，水平面から高さ (4) の最高点に達した。ただし，物体の大きさは無視できるものとし，斜面と水平面のなす角をθ，重力加速度をgとする。



(1)の選択肢

(ア)　$\mu < \sin\theta$　　(イ)　$\mu < \cos\theta$　　(ウ)　$\mu < \tan\theta$　　(エ)　$\mu < \dfrac{\cos\theta}{\sin\theta}$

(オ)　$\mu < \dfrac{1}{\sin\theta}$

(2)の選択肢

(ア)　$\sqrt{2gL(\sin\theta - \mu'\cos\theta)}$　　(イ)　$\sqrt{2gL(\cos\theta - \mu'\sin\theta)}$

(ウ)　$\sqrt{2gL(\sin\theta - \mu')}$　　(エ)　$\sqrt{2gL(\cos\theta - \mu')}$

(オ)　$\sqrt{2gL\left(\dfrac{1}{\sin\theta} - \mu'\right)}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)の選択肢

(ア) $\sqrt{\dfrac{2mgL(\sin\theta-\mu'\cos\theta)}{k}}$

(イ) $\sqrt{\dfrac{2mgL(\cos\theta-\mu'\sin\theta)}{k}}$

(ウ) $\sqrt{\dfrac{2mgL(\sin\theta-\mu')}{k}}$

(エ) $\sqrt{\dfrac{2mgL(\cos\theta-\mu')}{k}}$

(オ) $\sqrt{\dfrac{2mgL\left(\dfrac{1}{\sin\theta}-\mu'\right)}{k}}$

(4)の選択肢

(ア) $\dfrac{L\sin\theta(\sin\theta-\mu'\cos\theta)}{\sin\theta+\mu'\cos\theta}$

(イ) $\dfrac{L\sin\theta(\cos\theta-\mu'\sin\theta)}{\cos\theta+\mu'\sin\theta}$

(ウ) $\dfrac{L\cos\theta(\sin\theta-\mu'\cos\theta)}{\sin\theta+\mu'\cos\theta}$

(エ) $\dfrac{L\cos\theta(\cos\theta-\mu'\sin\theta)}{\cos\theta+\mu'\sin\theta}$

(オ) $\dfrac{L\sin\theta(\sin\theta+\mu'\cos\theta)}{\sin\theta-\mu'\cos\theta}$

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

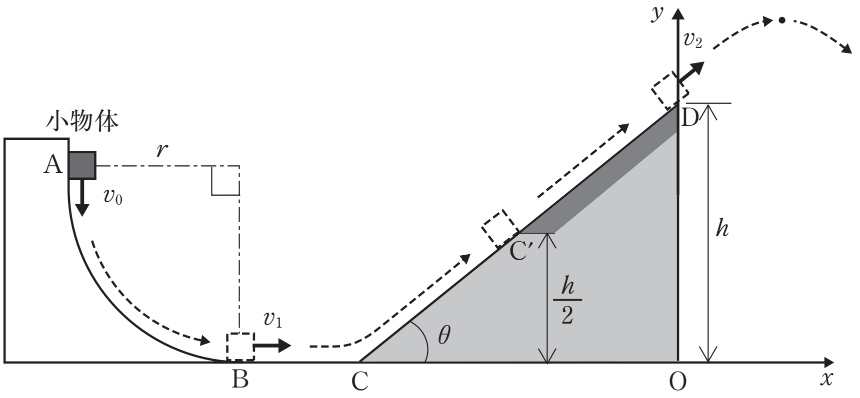
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図に示すように，半径 r [m] の円弧（中心角が 90°）状の斜面 AB が点 B で水平な面に接するように固定されている。また，水平な面に対して角度 θ (0° ＜ θ ＜ 90°) をなす斜面 CD は点 C で水平な面になめらかに接続されている。円弧状の斜面 AB，水平な面 BC および斜面 CC′ はなめらかな面であり，斜面 C′D はあらい面である。円弧状の斜面上の点 A から，質量が m [kg] で大きさの無視できる小物体を速さ v_0 [m/s] ですべり落とす。小物体は，円弧状の斜面 AB をすべり落ちた後，点 B を速さ v_1 [m/s] で通過する。点 B を通過した小物体は，斜面 CD を上がり，点 D から斜面 CD に沿った方向に速さ v_2 [m/s] で飛び出す。点 D から飛び出した小物体は最高点に達した後，水平な面に落ちる。

小物体と斜面 C′D との間の動摩擦係数を μ'，重力加速度の大きさを g [m/s^2] とし，空気の抵抗は無視するものとする。水平な面から点 C′ および点 D までの高さを，それぞれ $\frac{1}{2}h$ [m] および h [m] とし，円弧状の斜面の半径 r [m] は $\frac{1}{2}h < r < h$ とする。

以下の問に答えよ。



(1)　小物体が円弧状の斜面 AB をすべり落ち，点 B を通過するときの速さ v_1 [m/s] を，v_0 を含む式で表せ。

(2)　小物体が点 C から点 C′まで上がったとき，小物体の増加した位置エネルギー U [J] を求めよ。

(3)　小物体が斜面 C′D を上がるとき，小物体が斜面から受ける動摩擦力の大きさ F [N] を求めよ。

(4)　小物体が点 C′から点 D まで上がったとき，動摩擦力が小物体にした仕事 W [J] を求めよ。

(5)　小物体が点 D から斜面 CD に沿った方向に飛び出す速さ v_2 [m/s] を，点 B を通過するときの速さ v_1，および動摩擦力が小物体にした仕事 W を含む式で表せ。

(6)　小物体が点 D から斜面 CD に沿った方向に飛び出すために v_0 [m/s] が満たすべき条件を，動摩擦力が小物体にした仕事 W を含む式で表せ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

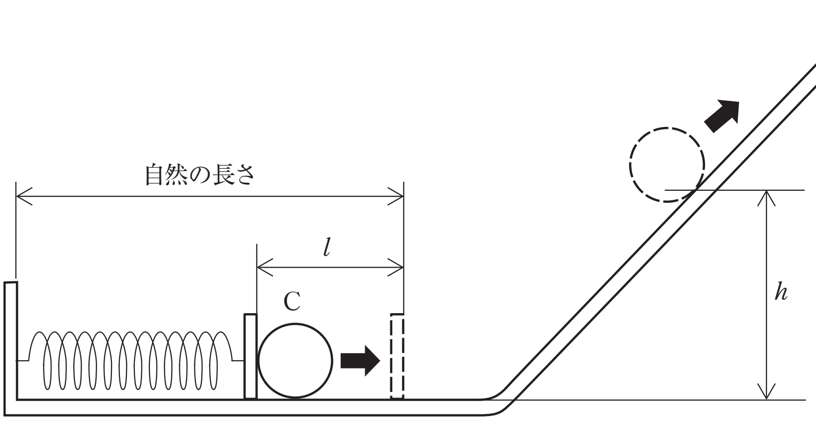
©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第７講　確認テスト

次の各設問に該当する答の番号を解答群から選びなさい。

なめらかな水平面上で，ばね定数kの軽いばねの一端を固定し，他端に質量mの物体Ｃを押しつけ，自然の長さから長さlを縮めてから，静かに離した。以下の問に答えよ。ただし，重力の加速度をgとする。また，物体Ｃの大きさは無視する。



図

問１　ばねの縮めた長さがlのとき物体Ｃに加えている力の大きさはいくらか。

① kl　② km　③ klm　④ lg
⑤ kg　⑥ klg

問２　そのときのばねに蓄えられた弾性力のエネルギーはいくらか。

① $\frac{1}{2}km^2$　② $\frac{1}{2}ml^2$　③ $\frac{1}{2}kl^2$　④ $2gl^2$
⑤ $2gm^2$　⑥ $2kl$

問３　ばねから離れた直後の物体Ｃの速さはいくらか。

① $\frac{km}{l}$　② $\frac{kl}{m}$　③ $\frac{lm}{k}$　④ $k\sqrt{\frac{l}{m}}$
⑤ $l\sqrt{\frac{m}{k}}$　⑥ $l\sqrt{\frac{k}{m}}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問4　ばねから離れた後，図のなめらかな斜面があり，物体Cが水平面からの高さ h を通過するときの速さはいくらか。ただし，物体Cがばねから離れた直後の速さを v とする。

①　$\sqrt{v^2+2gh}$　②　$\sqrt{v^2-2gh}$　③　$\sqrt{v^2+2ghm}$　④　$\sqrt{2ghm}$
⑤　$\sqrt{2gh-v^2}$　⑥　$\sqrt{2ghm-v^2}$

問5　また，この物体Cが到達できるなめらかな斜面の最高点の高さはいくらか。ただし，物体Cがばねから離れた直後の速さを v とする。

①　$\dfrac{2g}{v^2}$　②　$\dfrac{v^2}{2}$　③　$\dfrac{v^2}{2g}$　④　$\dfrac{2v^2}{g}$
⑤　$\dfrac{v^2g}{2}$　⑥　$2gv^2$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第８講　運動量と力積

1

次の文章の空欄にあてはまる数式または数値を答えなさい。

台車に乗った太郎くんがボールのやりとりをする。やりとり後に太郎くんと台車はどのような運動をするのか，A，B，Cの３通りを考えてみよう。台車と太郎くんはどの場合においても，初めは共に静止しているとする。台車と太郎くんは一体と考えてよく，台車と太郎くんの質量の総和を M とする。ボールは大きさの無視できる質量 m の物体として取り扱う。また，台車と地面の間の摩擦は無視し，水平右向きを力，速度，および変位の正の向きとする。

A．左から速度 v $(v>0)$ で水平に向かってきたボールが，同じ姿勢を保ったままの太郎くんの頭に当たって跳ね返り，水平逆向き（左向き）に飛んでいった場合を考えよう（図１）。太郎くんとボールとの衝突は弾性衝突とみなす。衝突後にボールの速度は $-v'$ $(v'>0)$ となり，台車の速度は V' $(V'>0)$ になったとする。反発係数（はねかえり係数）は v，v'，V' を用いて $\boxed{(1)}$ と表すことができ，衝突が弾性衝突であることから，この数値は $\boxed{(2)}$ となっているはずである。また運動量保存の法則により，m，v，v'，M，V' の関係式を $\boxed{(3)}$ と書くことができる。よって衝突後の台車の速度 V' は，m，v，M を用いて $\boxed{(4)}$ と表される。この衝突では力学的エネルギーが保存されている。

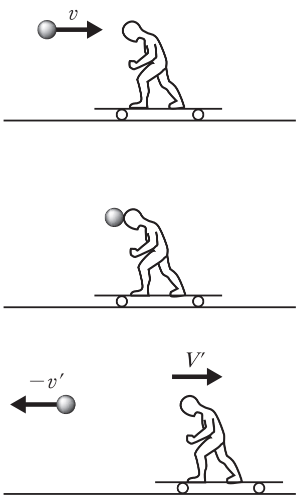


図１

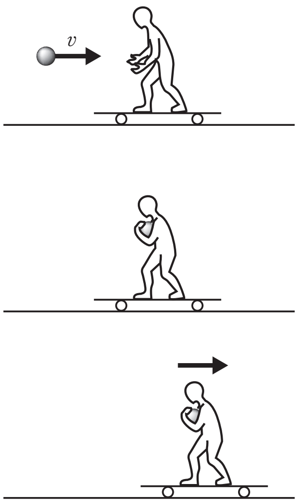


図２

B．次に，左から速度 v $(v>0)$ で水平に向かってきたボールを太郎くんがキャッチした場合を考えよう（図２）。キャッチした後の台車の速度は，m，v，M を用いて $\boxed{(5)}$ と表される。このとき力学的エネルギーの総和はキャッチ前に比べて減少しており，その減少量は m，v，M を用いて $\boxed{(6)}$ と表される。この減少したエネルギーは熱や変形，音などのエネルギーに変わっていると考えられる。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

C．最後に，太郎くんが水平左向きにボールを投げた場合を考えよう（図3）。投球後，地上で静止している人から見てボールは速度 $-v\,(v>0)$ で運動した。太郎くんはボールを構えてから手放すまでの短い時間 Δt の間に，ボールに一定の力を水平左向きに加えていたと考えよう。この力を $-F\,(F>0)$ とすると，力積 $-F\Delta t$ は，m，v を用いて［ (7) ］と書ける。太郎くんがボールに力を加えているとき，太郎くんもまたボールから右向きの力を受けている。この力を $F'\,(F'>0)$ とすると，F と F' との関係は［ (8) ］と表される。投球後の台車の速度を $V''\,(V''>0)$ とすると，太郎くんと台車がボールから受ける力積 $F'\Delta t$ は，M，V'' を用いて［ (9) ］と書ける。(7)，(8)，(9)より，投球前後で運動量が保存されていることがわかる。このことを用いると投球後の台車の速度 V'' は，m，v，M を用いて［ (10) ］と表される。一方，投球後の力学的エネルギーの総和を求めてみると，投球前の値に比べて増えていることがわかる。この増加分を m，v，M を用いて表すと［ (11) ］となる。この場合投球は，ともに静止していた質量 m と M の物体の「分裂」と考えられる。上の考察によって，分裂を起こすためには，力学的エネルギーを増やす必要があることが示された。この力学的エネルギーに追加された分は，太郎くんの体内のエネルギーが変換されたものである。体内のエネルギーまでを考慮に入れると，エネルギー全体は保存されているはずである。

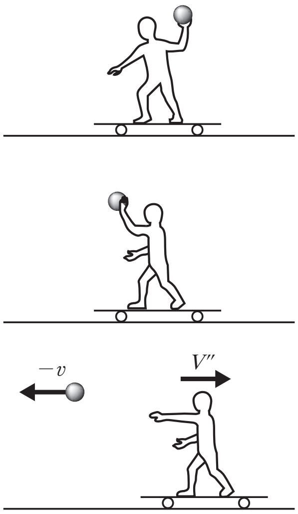


図3

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

　なめらかな水平面に質量 m の小球Aを質量を無視できるばねに押し付けて a だけ縮めて静かに放すと，小球Aはばねが自然長になったところでばねから離れた。そのときの速度 v_0 を保ったまま小球Aは静止している質量 M の小球Bに衝突し，衝突後，小球Aおよび小球Bの速度はそれぞれ右向きを正として v_A，v_B となった。ばね定数を k とする。次の文の［　］にあてはまる答えを解答群の中から記号で選びなさい。

(1)　小球Aがばねから離れたときの速度 v_0 は［①］である。

(2)　衝突前と衝突後の小球Aおよび小球Bに関する運動量保存則の式は［②］となる。

(3)　この衝突のはねかえり係数を e とすると，衝突後の速度はそれぞれ，

　　$v_A =$［③］，$v_B =$［④］となる。

(4)　完全非弾性衝突（$e = 0$）のとき，失われた力学的エネルギー ΔE は，

　　$\Delta E =$［⑤］となる。

解答群

(ア)　$\sqrt{\dfrac{m}{k}}a$　　(イ)　$\sqrt{\dfrac{k}{m}}a$

(ウ)　$\sqrt{\dfrac{ma}{k}}$　　(エ)　$mv_0 = mv_A + Mv_B$

(オ)　$\dfrac{1}{2}mv_0^2 = \dfrac{1}{2}mv_A^2 + \dfrac{1}{2}Mv_B^2$　　(カ)　$mv_0^2 = mv_A^2 + Mv_B^2$

(キ)　$\sqrt{\dfrac{m-eM}{m+M}}v_0$　　(ク)　$\dfrac{m-eM}{m+M}v_0$

(ケ)　$\dfrac{m+eM}{m+M}v_0$　　(コ)　$\dfrac{(1+e)m}{m+M}v_0$

(サ)　$\sqrt{\dfrac{(1-e)m}{m+M}}v_0$　　(シ)　$\dfrac{e(m-M)}{m+M}v_0$

(ス)　$\dfrac{mMv_0^2}{2(m+M)}$　　(セ)　$\dfrac{mMv_0^2}{m+M}$

(ソ)　$\dfrac{2mMv_0^2}{m+M}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

地上 h の高さから質量 m の物体を静かに落とした。地面と物体との間のはねかえり係数を e，重力加速度を g としてつぎの(1)から(3)に答えよ。ただし，空気の抵抗は無視できるものとする。

(1)　n 回目に地面と衝突した後，物体は地上どれだけの高さまで上るか。

a．$\frac{1}{2}e^{2n-1}h$　　b．$e^{2n-1}h$　　c．$e^{2n}h$

d．$\frac{1}{2}e^{2n}h$　　e．$e^{2n+1}h$

(2)　地上に完全に静止するまでに物体が運動した全走行距離はいくらか。

a．$\frac{1}{5}\frac{1+e^2}{1-e^2}h$　　b．$\frac{1}{4}\frac{1+e^2}{1-e^2}h$　　c．$\frac{1}{3}\frac{1+e^2}{1-e^2}h$

d．$\frac{1}{2}\frac{1+e^2}{1-e^2}h$　　e．$\frac{1+e^2}{1-e^2}h$

(3)　物体が地面と n 回目に衝突したときに失う力学的エネルギーはいくらか。

a．$mghe^{2(n-1)}(1-e^2)$　　b．$\frac{1}{2}mghe^{2(n-1)}(1-e^2)$

c．$\frac{1}{3}mghe^{2(n-1)}(1-e^2)$　　d．$\frac{1}{4}mghe^{2(n-1)}(1-e^2)$

e．$\frac{1}{5}mghe^{2(n-1)}(1-e^2)$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第8講　確認テスト

次の問の答えとして最も適切なものを，それぞれの解答群から一つずつ選びなさい。

図1のように，糸の一端を天井に固定し，他端に糸の長さと比べると直径が無視できる質量 m の小球をつける。糸をたるませないようにして，小球を最下点から高さ h_1 の位置まで移動させてから一旦停止させ，そのあと静かに放したところ，小球は最下点で床に固定された物体に正面衝突し，その後，小球は最下点から高さ h_2 の位置まではね返った。ただし，小球の運動は同一の鉛直面内でのみ生じるとし，$0 < h_2 < h_1$ であり，糸の質量と空気の抵抗は無視できるとする。また，重力加速度の大きさを g として，以下の問に答えなさい。

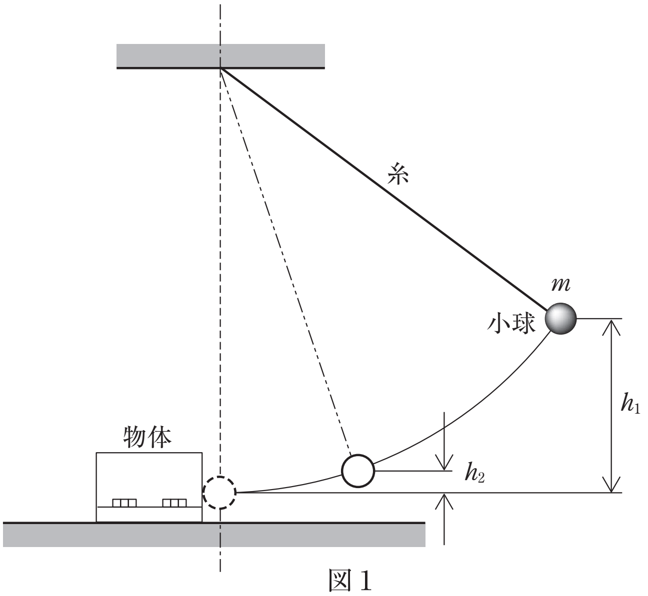


図1

(1)　衝突する直前の小球の速さを，g と h_1 を用いて表しなさい。

①　$\sqrt{gh_1}$　②　$\sqrt{2gh_1}$　③　$\sqrt{3gh_1}$　④　$\sqrt{\dfrac{gh_1}{2}}$

⑤　$\sqrt{\dfrac{gh_1}{3}}$　⑥　$\sqrt{\dfrac{2gh_1}{3}}$

(2)　小球と物体の間の反発係数（はね返り係数）を，h_1 と h_2 を用いて表しなさい。

①　$\sqrt{\dfrac{h_2}{h_1}}$　②　$\sqrt{\dfrac{h_1}{h_2}}$　③　$\sqrt{\dfrac{h_1}{h_1-h_2}}$　④　$\sqrt{\dfrac{h_1-h_2}{h_1}}$

⑤　$\sqrt{\dfrac{h_2}{h_1-h_2}}$　⑥　$\sqrt{\dfrac{h_1-h_2}{h_2}}$

(3)　衝突中に小球が物体から受けた力積の大きさを，m，g，h_1，h_2 を用いて表しなさい。

①　$m\sqrt{2g(h_1-h_2)}$　②　$m\sqrt{2g(h_1+h_2)}$

③　$m(\sqrt{2gh_1}-\sqrt{2gh_2})$　④　$m(\sqrt{2gh_1}+\sqrt{2gh_2})$

⑤　$m(\sqrt{gh_1}-\sqrt{gh_2})$　⑥　$m(\sqrt{gh_1}+\sqrt{gh_2})$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

次に，物体（質量 M）が床の上を移動できるようにする。図２のように，小球（質量 m）を最下点から高さ h_1 の位置まで移動させてから一旦停止させ，そのあと静かに放したところ，小球は最下点で静止している物体と正面衝突し，物体は床の上を移動した。小球と物体の間の反発係数（はね返り係数）は e であり，$m > eM$ である。ただし，小球と物体の運動は同一の鉛直面内でのみ生じるとし，床は水平でなめらかであるとして，以下の問に答えなさい。

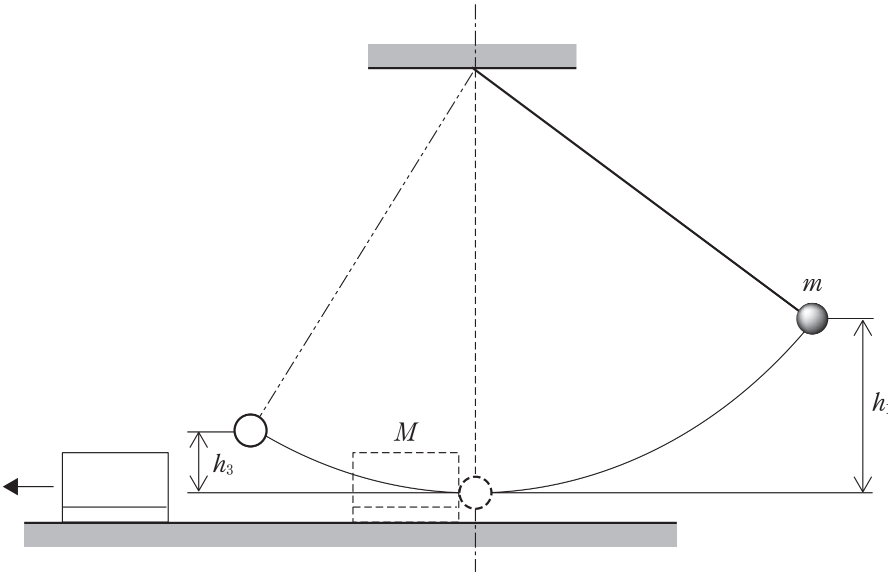


図２

⑷　衝突した直後の小球の速さを，m，M，e，g，h_1 を用いて表しなさい。

① $\dfrac{M}{m-eM}\sqrt{2gh_1}$　② $\dfrac{m-eM}{M}\sqrt{2gh_1}$

③ $\dfrac{m}{m-eM}\sqrt{2gh_1}$　④ $\dfrac{m-eM}{m}\sqrt{2gh_1}$

⑤ $\dfrac{M+m}{m-eM}\sqrt{2gh_1}$　⑥ $\dfrac{m-eM}{M+m}\sqrt{2gh_1}$

⑸　衝突のあと小球は最下点より高さ h_3 の位置まで上昇した。h_3 を，m，M，e，h_1 を用いて表しなさい。

① $\left(\dfrac{m-eM}{M}\right)^2 h_1$　② $\left(\dfrac{M}{m-eM}\right)^2 h_1$

③ $\left(\dfrac{m-eM}{M+m}\right)^2 h_1$　④ $\left(\dfrac{M+m}{m-eM}\right)^2 h_1$

⑤ $\left(\dfrac{m-eM}{m}\right)^2 h_1$　⑥ $\left(\dfrac{m}{m-eM}\right)^2 h_1$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第９講　総合演習１

1

［A］　図１－１に示すように，なめらかな水平面上で静止している質量 M の物体Ｂにばね定数 k の軽いばねが水平に取り付けてある。質量 m の物体Ａを右向きの初速度 v_0 で物体Ｂに衝突させる。衝突の際，ばねが最も縮んでいる瞬間は，両物体は一体となり同じ速度を持つものとする。なお，力学的エネルギーが保存されるとし，右向きの速度を正とする。以下の問に答えよ。

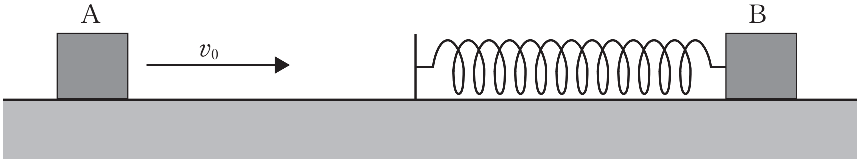


図１－１

(1)　衝突の前，物体Ａが持っている運動量を記せ。

(2)　衝突の前，物体Ａが持っている運動エネルギーを記せ。

(3)　両物体の速度が同じになったときの速度を V とし，その値を求めよ。

(4)　物体Ｂのばねが最も縮んだときの自然長からの変位を s とし，その値を求めよ。

(5)　衝突後，物体Ａがばねから離れた後の両物体の速度を V_A，V_B とし，それぞれの値を求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

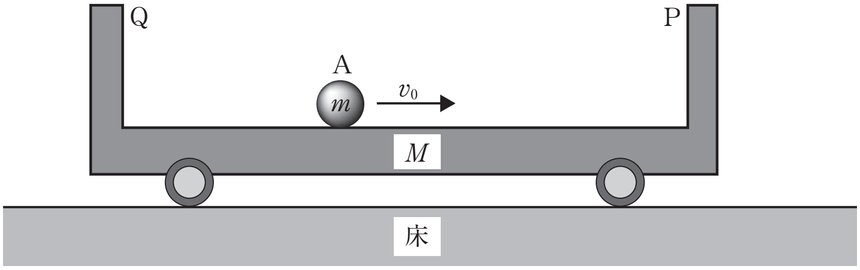
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

［B］

なめらかな水平面上に，直方体の箱（質量 M）が置かれている。この中に質量 m の小球がある。これが初速度 v_0 で箱の内側に垂直に衝突して，速度 v_1 ではねかえり，再び反対側の壁に衝突してはねかえり，以下これを繰り返す。ここで初速度 v_0 の方向を速度の正の方向とする。小球と壁との間のはねかえり係数を e（ただし，$e<1$）とし，$Me>m$ とする。また，摩擦は無視する。

(1) n 回目の衝突後の小球の速度 v_n を求めよ。

(2) 何度も衝突を繰り返すと，小球はどんな速度に近づくか。



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

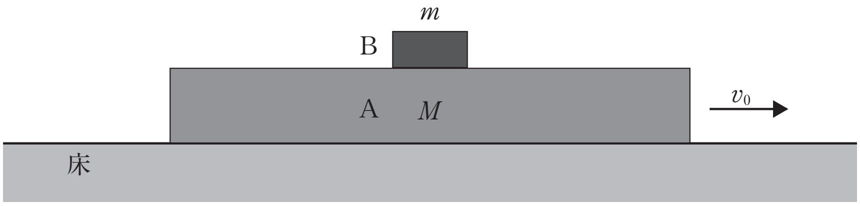
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

　図のように，なめらかで水平な床上を一定の速さ v_0 で運動している直方体の物体A（質量 M）の上面に，小さな物体B（質量 m）を静かに（床に対する速さ0で）置いた。すると，BはAの上面を滑った後，Aに対して静止し，AとBは一体になって進んだ。重力加速度の大きさを g，Aの上面とBとの動摩擦係数を μ とし，次の各問に答えよ。



(1)　AとBが一体になったときの速さはいくらか。

(2)　物体AとBの運動エネルギーの和は，物体BがAの上面に置かれる前に比べてAとBが一体になった後ではどれだけ変化したか。

(3)　BがAの上面に置かれてからAに対して静止するまでに，BがAに対して移動した距離はいくらか。

(4)　BがAの上面に置かれてからAに対して静止するまでの時間 T を求めよ。

(5)　BがAの上面に置かれてからAに対して静止するまでに，Bが床に対して移動した距離 L を求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

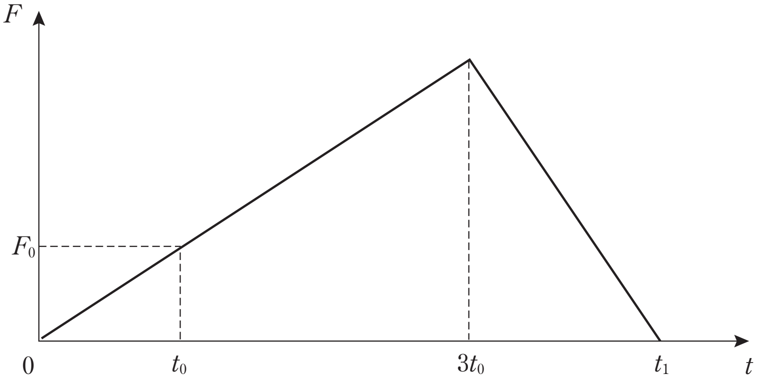
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

水平面と角度 θ をなす斜面上に止まっていた質量 m の物体に，図のような，時刻 t に対し折線グラフ状に変わる力 F を斜面の最大傾斜角方向に加え，物体を滑り落とした。物体は力が F_0 となった時刻 t_0 に滑り始めた。時刻 $3t_0$ で力は最大値に達し，時刻 t_1 で 0 になった。物体と斜面の間の静止摩擦係数と動摩擦係数の比を 2：1 とし，重力加速度の大きさを g として，以下の問に答えよ。



(1)　図に示した力によって物体が受ける力積を求めよ。

(2)　静止摩擦係数を求めよ。

(3)　滑っているときの摩擦力の大きさを求めよ。

(4)　時刻 0 から t_1 までに摩擦力によって物体が受ける力積を求めよ。

(5)　時刻 t_1 での物体の速さを求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

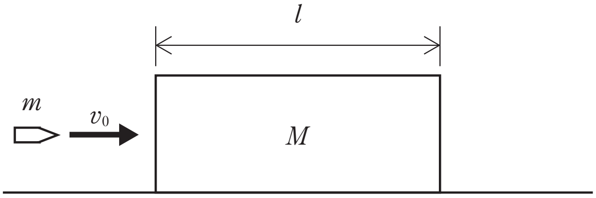
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第９講　確認テスト

図のように，水平な床の上に質量 M[kg]，長さ l[m] の木片が置かれている。いま，質量 m[kg] の弾丸を水平方向から木片の表面に垂直に撃ち込む。弾丸が木片から受ける抵抗力 F は弾丸の速さによらず常に一定であり，弾丸の運動における空気抵抗と重力の影響および弾丸の大きさは無視できるものとして，以下の各問に答えよ。解答は，各問に対して最も適する答えを一つずつ解答群から選びなさい。



木片を床面に固定し，弾丸を速さ v_0 [m/s] で撃ち込んだら，木片の表面から距離 x [m] のところで停止した。

(1)　抵抗力 F は［ 1 ］[N] である。

①　$\dfrac{mv_0}{x}$　②　$\dfrac{mv_0^2}{x}$　③　$\dfrac{mv_0}{2x}$　④　$\dfrac{mv_0^2}{2x}$

⑤　$\dfrac{2mv_0}{x}$　⑥　$\dfrac{2mv_0^2}{x}$　⑦　$\dfrac{xv_0}{2m}$　⑧　$\dfrac{xv_0^2}{2m}$

⑨　$\dfrac{2x}{mv_0}$　⑩　$\dfrac{2x}{mv_0^2}$

(2)　弾丸が木片を貫くためには，弾丸の速さを［ 2 ］[m/s] 以上にする必要がある。

①　$\sqrt{\dfrac{Fl}{m}}$　②　$\sqrt{\dfrac{Fl}{2m}}$　③　$\sqrt{\dfrac{Fl}{m+M}}$　④　$\sqrt{\dfrac{F(x+l)}{m+M}}$

⑤　$v_0\times\dfrac{l^2}{x^2}$　⑥　$v_0\times\dfrac{x^2}{l^2}$　⑦　$v_0\sqrt{\dfrac{l}{x}}$　⑧　$v_0\sqrt{\dfrac{x}{l}}$

⑨　$v_0\times\dfrac{l}{x}$　⑩　$v_0\times\dfrac{x}{l}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

次に木片と床面の固定を解き，木片をなめらかな摩擦がない床の上に置き，弾丸を速さ v_0 [m/s] で木片に撃ち込む。弾丸は木片の表面から距離 x' [m] のところで停止し，両者は一体となって速さ v [m/s] で床の上を水平に動き出した。

(3) 速さ v は［ 3 ］[m/s] である。

① $\dfrac{mv_0}{m+M}$　② $\dfrac{Mv_0}{m+M}$　③ $\dfrac{(m+M)v_0}{m}$　④ $\dfrac{(m+M)v_0}{M}$

⑤ $\dfrac{m^2v_0}{M(m+M)}$　⑥ $\dfrac{M^2v_0}{m(m+M)}$　⑦ $v_0\sqrt{\dfrac{m}{m+M}}$　⑧ $v_0\sqrt{\dfrac{m+M}{m}}$

⑨ $\dfrac{mv_0}{M}$　⑩ $\dfrac{Mv_0}{m}$

(4) 停止位置 x' は［ 4 ］[m] である。

① $\dfrac{Mx}{m}$　② $\dfrac{mx}{M}$　③ $\dfrac{(m+M)x}{m}$　④ $\dfrac{(m+M)x}{M}$

⑤ $\dfrac{mx}{m+M}$　⑥ $\dfrac{Mx}{m+M}$　⑦ $\dfrac{(m+M)^2x}{m^2}$　⑧ $\dfrac{(m+M)^2x}{M^2}$

⑨ $\dfrac{m^2x}{(m+M)^2}$　⑩ $\dfrac{M^2x}{(m+M)^2}$

(5) 弾丸の運動エネルギーは，一部が木片との摩擦によって運動を妨げられ減少する。この減少した分の力学的エネルギーは［ 5 ］[J] である。

① $\dfrac{m^2{v_0}^2}{m+M}$　② $\dfrac{M^2{v_0}^2}{m+M}$　③ $\dfrac{(m+M){v_0}^2}{m}$　④ $\dfrac{(m+M){v_0}^2}{M}$

⑤ $\dfrac{m^2{v_0}^2}{2(m+M)}$　⑥ $\dfrac{M^2{v_0}^2}{2(m+M)}$　⑦ $\dfrac{mM{v_0}^2}{2(m+M)}$　⑧ $\dfrac{mM{v_0}^2}{2(M-m)}$

⑨ $\dfrac{m^2{v_0}^2}{2(M-m)}$　⑩ $\dfrac{M^2{v_0}^2}{2(M-m)}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 10 講　円運動

1

図１のように，支点Ｏから長さ l [m] の糸につるされた質量 m [kg] の小物体が，鉛直線に対する糸の傾き θ [rad] を一定に保ちながら，水平面内で円運動している円すい振り子がある。ただし，糸の質量と空気の抵抗を無視し，重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。

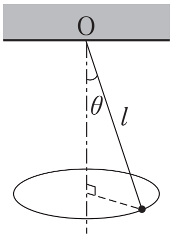


図１

問１　糸の張力を R [N]，回転の角速度を ω [rad/s]，回転半径を r [m] とする。小物体にはたらく鉛直方向の力のつり合いの式は[(1)]で，水平方向の運動方程式は[(2)]である。回転半径 r を l と θ で表すと $r=$ [(3)]となる。これらの式から張力 R と回転半径 r を消去すると，角速度は $\omega=$ [(4)]で与えられる。この回転運動の周期を T_1 [s] とし，これを l や θ で表すと $T_1=$ [(5)]が得られる。

次に，前の円すい振り子の支点Ｏから h [m]（ただし $h<l$）だけ下の位置に，図２のように，なめらかで平らな板を水平に置く。この板の上を小物体が，糸がたるまないようにして，一定の角速度 ω [rad/s] で回転している場合を考える。

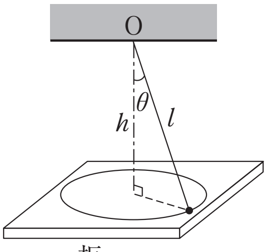


図２

問２　このときの小物体の回転半径を r [m] とし，長さ l [m] の糸の鉛直線に対する角度を θ [rad] とすると，$\cos\theta=$ [(6)]，$\sin\theta=$ [(7)]である。小物体は板から垂直抗力 N [N]，糸の張力 R [N] を受けているとする。小物体にはたらく力の，鉛直方向の力のつり合いの式は鉛直方向が[(8)]，水平方向の運動方程式が[(9)]となる。回転半径 r と角度 θ をこれらの式から消去すると，糸の張力は $R=$ [(10)]となり，垂直抗力は $N=$ [(11)]となる。

また，回転の角速度を徐々に増していくと，ある角速度で小物体が板から離れる。

問３　離れた瞬間に垂直抗力は $N=$ [(12)]となるので，そのときの角速度で回転する円すい振り子の周期 T_2 [s] を用いて表すと $T_2=$ [(13)]が得られる。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

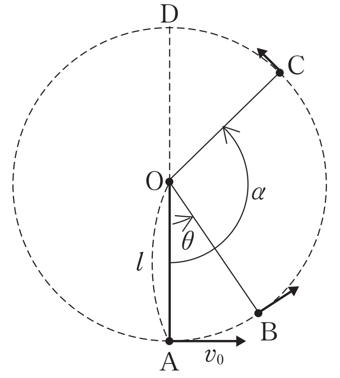
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

なめらかな支点Oに長さlの軽い糸の一端を固定し,他端には質量mの小球をつりさげた。ここで，点Oを含む鉛直面内での小球の運動を考える。図のように，最下点Aで静止している小球を，水平方向に速さv_0で打ち出したところ，小球はOを中心とする半径lの円周上を糸がたるむことなく運動し始めた。重力加速度の大きさをgとし，小球の大きさは無視できるものとして，以下の問に答えよ。



(1)　鉛直下方と角θをなす円周上の点Bを，小球が速さv，糸の張力Sで通過するとき，

ア　点Aを位置エネルギーの基準にとると，点Bにおける小球の位置エネルギーはいくらか。m，g，l，θを用いて表せ。

イ　点Aから打ち出された直後の小球の運動エネルギーと，点Bを通過するときの力学的エネルギーとの間に成り立つ関係式を書け。

ウ　小球について円運動の方程式を張力Sとm，g，θ，v，lを用いて表せ。

エ　糸にはたらく張力をm，g，l，v_0，θを用いて表せ。

(2)　小球が円軌道から離れずに，円周上の最高点Dを通過して円運動を続けるために必要なv_0の最小値を求めよ。

(3)　小球が円周上のある点Cを通過した瞬間に糸がたるみ始め，その後，小球は円軌道から離れたとする。そのときの，点Cの鉛直下方からの角をα $\left(\frac{\pi}{2}<\alpha<\pi\right)$として，打ち出されたときの速さ$v_0$を$l$，$g$，$\alpha$を用いて表せ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

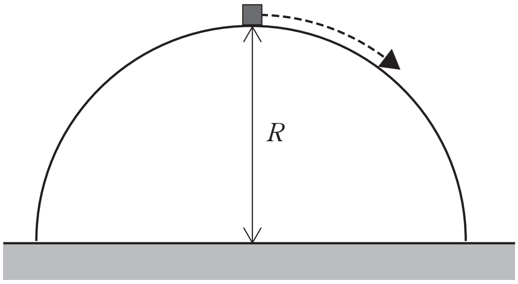
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

　水平面上に固定された半径 R の半球面の頂上から，静止していた小さな物体がすべり落ちた。重力加速度の大きさを g とすると，この物体が半球面から離れる瞬間の速さはいくらか。正しいものを，以下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，半球面と物体の間の摩擦および空気の抵抗は無視できるものとする。



① $\sqrt{2gR}$　　② $\sqrt{\dfrac{3gR}{2}}$　　③ $\sqrt{gR}$　　④ $\sqrt{\dfrac{2gR}{3}}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{gR}{2}}$　　⑥ $\sqrt{\dfrac{gR}{3}}$　　⑦ $\dfrac{1}{2}\sqrt{gR}$　　⑧ $\dfrac{1}{3}\sqrt{2gR}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

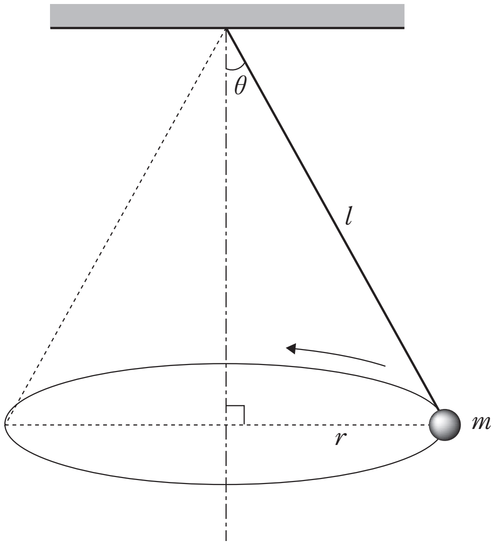
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第10講　確認テスト

次の文を読み，下の各問に答えよ。ただし，問に対しては最も適当な答えをそれぞれの解答群から一つ選びなさい。また，重力加速度の大きさは g [m/s^2] とする。

図に示すように，長さ l [m] の伸び縮みのしないじょうぶな軽い糸の一端を天井に固定し，他端に質量 m [kg] のおもりをつるし，このおもりを水平面内で半径 r [m] の等速円運動をさせる。糸が鉛直線となす角 θ [rad] は一定として，以下の問に答えよ。



問1．糸がおもりを引く力の大きさを m，θ と g を用いて表せ。

解答群

(ア)　$mg\sin\theta$　(イ)　$mg\cos\theta$　(ウ)　$mg\tan\theta$　(エ)　$\dfrac{mg}{\sin\theta}$

(オ)　$\dfrac{mg}{\cos\theta}$　(カ)　$\dfrac{mg}{\tan\theta}$

問2．おもりの加速度はどの向きにはたらくか。

解答群

(ア)　等速円運動の中心から遠ざかる向き

(イ)　鉛直上向き

(ウ)　等速円運動の中心へ向かう向き

(エ)　鉛直下向き

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問3．おもりの回転の向心力の大きさを m，θ と g を用いて表せ。

解答群

(ア) $mg\sin\theta$　(イ) $mg\cos\theta$　(ウ) $mg\tan\theta$　(エ) $\dfrac{mg}{\sin\theta}$

(オ) $\dfrac{mg}{\cos\theta}$　(カ) $\dfrac{mg}{\tan\theta}$

問4．おもりの回転の半径 r は何 m か。l と θ を用いて表せ。

解答群

(ア) $l\sin\theta$　(イ) $l\cos\theta$　(ウ) $l\tan\theta$　(エ) $\dfrac{l}{\sin\theta}$

(オ) $\dfrac{l}{\cos\theta}$　(カ) $\dfrac{l}{\tan\theta}$

問5．おもりの回転の角速度の大きさは何 rad/s か。r，θ と g を用いて表せ。

解答群

(ア) $\sqrt{\dfrac{r}{g\sin\theta}}$　(イ) $\sqrt{\dfrac{r}{g\cos\theta}}$　(ウ) $\sqrt{\dfrac{r}{g\tan\theta}}$　(エ) $\sqrt{\dfrac{g\sin\theta}{r}}$

(オ) $\sqrt{\dfrac{g\cos\theta}{r}}$　(カ) $\sqrt{\dfrac{g\tan\theta}{r}}$

問6．おもりの回転の周期は何秒か。r，θ と g を用いて表せ。

解答群

(ア) $2\pi\sqrt{\dfrac{r}{g\sin\theta}}$　(イ) $2\pi\sqrt{\dfrac{r}{g\cos\theta}}$　(ウ) $2\pi\sqrt{\dfrac{r}{g\tan\theta}}$　(エ) $2\pi\sqrt{\dfrac{g\sin\theta}{r}}$

(オ) $2\pi\sqrt{\dfrac{g\cos\theta}{r}}$　(カ) $2\pi\sqrt{\dfrac{g\tan\theta}{r}}$

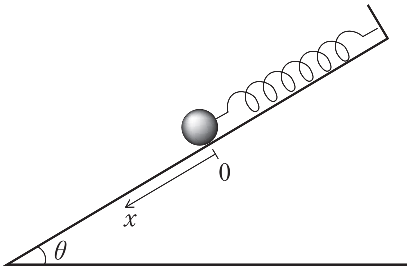
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第11講　単振動

1

　水平面に対して角度θ傾いたなめらかな斜面上にばね定数kのばねの一端が固定され，他端には質量mの小球が取り付けてある。小球の位置は，斜面に沿って下向きを正とするx座標で表わす。ばねに何もつるさないときのばねの端の位置を原点とする。はじめ，図に示すように原点で静止させていた小球を静かに放したところ，斜面上で単振動を始めた。ばねの質量は無視し，重力加速度をgとする。以下の問に答えよ。なお，小球が斜面の端まで届くことはない。



(1)　小球の位置がxのとき加速度はaであった。小球の運動方程式を書け。

(2)　単振動の角振動数と周期を求めよ。

(3)　小球の振動の中心の座標を求めよ。

(4)　単振動の振幅を求めよ。

(5)　小球の振動の最下点の座標を求めよ。

(6)　単振動の中心を通過する速さを求めよ。

(7)　小球を静かに放した時刻を$t = 0$として，時刻tにおける小球の位置を表す式を書け。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

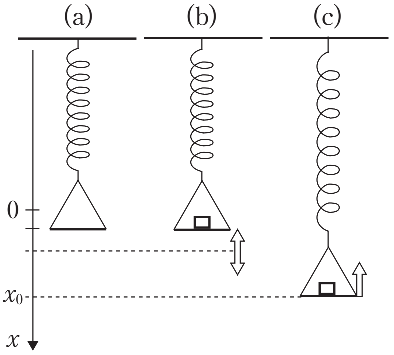
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

次の文章の[　　]に適切な数式を入れよ。

天井からつり下げたばね定数 k [N/m] の軽いつる巻きばねの先に質量 m [kg] のうすい板が固定されている。鉛直下向きに x 軸をとり，ばねが自然長のときの板の位置を原点とする。また，重力加速度を g [m/s^2] とする。



問１　図(a)のように板が静止しているとき，板の位置は[(1)] [m] であり，重力による板の位置エネルギーとばねの弾性エネルギーの和は[(2)] [J] である。ただし，位置エネルギーは原点を基準とする。

問２　図(a)のように静止した板に質量 $2m$ [kg] の小さなおもりを置き静かに手を離すと，図(b)のようにおもりと板は一体となり単振動をはじめた。振動の中心では力がつりあうことから，振動の中心の位置は[(3)] [m] であり，振幅は[(4)] [m] である。また，周期は[(5)] [s] である。

問３　板に問２と同じおもりを置き，図(c)のように x_0 [m] まで引き下げて静止させた後に静かに手を離すと，おもりと板は一体となり上昇しはじめた。上昇の途中でおもりは板から離れ，重力による減速を受けながら上昇を続け，速度が０となった所で最高点に達した。おもりと板が一体となって上昇する間，板の位置が x [m] のときの下向きの加速度を a [m/s^2]，おもりが板から受ける垂直抗力の大きさを N [N] とする。

おもりと板の運動方程式は，それぞれ，以下のように与えられる。

おもり：$2ma =$ [(6)]

板：　$ma =$ [(7)]

おもりが板から離れる瞬間の板の位置は[(8)] [m] である。おもりが到達する最高点の位置は[(9)] [m] である。実際におもりが板から離れて運動するためには，x_0 > [(10)] [m] でなければならない。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

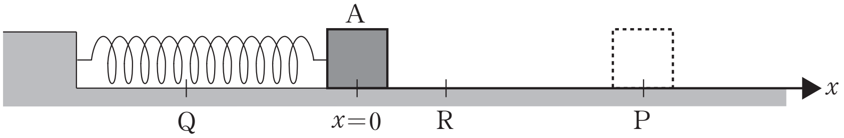
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

次の文章を読み，問１から問３の［　　］の中に適切な数式を入れよ。ただし，問４はグラフに答えよ。

図に示すように，水平な床面上に質量 m [kg] の物体Ａをおき，つるまきばねを取り付ける。ばねが床面と水平となるように，ばねの他端を壁に固定する。物体Ａは図の x 軸上を運動し，その位置を座標 x [m] で表す。ばねが自然長のとき物体Ａの位置を原点 $x = 0$ にとり，ばね定数を k [N/m] とする。物体Ａと床面との間の動摩擦係数を μ とする。ただし，重力加速度の大きさは g [m/s^2] とし，ばねの質量は無視できるものとする。



図

物体ＡをＰ点（$x = 5l$）まで引っ張り，時刻 $t = 0$ で静かに手を放した。このとき，物体Ａは x 軸の負の向きに動きはじめ，Ｑ点（$x = -3l$）で運動の向きを反転し，再び x 軸の正の向きに運動した。その後，物体Ａは時刻 $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ [s] でＲ点に停止した。なお，以下の(4)(5)(8)(9)では l を用いて答えよ。

問１　物体ＡがＰからＱまで移動するとき，ばねにたくわえられた位置エネルギー（弾性エネルギー）の変化は［(1)］[J] と表される。また，この間に動摩擦力がした仕事は［(2)］[J] である。両者の仕事は相等しいので，動摩擦係数 μ は［(3)］と求められる。

問２　時刻 $t = 0$ で手を離れた物体Ａはしだいに速さを増し，最大の速さになったのち，徐々に減速してＱ点で０となった。この間，物体Ａが受ける力は右向きを正として［(4)］[N] と表される。したがって，物体Ａの運動は $x =$［(5)］[m] を中心とする単振動の動きに等しいことがわかる。よって，この中心で物体Ａの速さは最大となり，その値は［(6)］[m/s] となる。また，物体ＡがＱ点で反転する時刻は［(7)］[s] である。

問３　つぎに物体ＡがＱからＲまで移動するとき，物体Ａに作用する力は右向きを正として［(8)］[N] と表され，この区間の振動の中心は $x =$［(9)］[m] である。

問４　物体Ａの座標 x と時間 t との関係をグラフにせよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

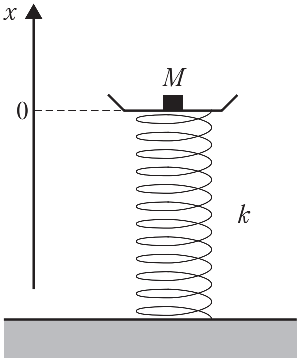
< Note >

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 11 講　確認テスト

以下の［ 1 ］から［ 8 ］にあてはまる最も適切な答えを各解答群から１つ選びなさい。ただし，同じ番号をくり返し選んでもよい。数値を選ぶ場合は最も近い値を選ぶものとする。

図のようにばね定数 k, 自然長 L のばねに上皿が取り付けられている。上皿の面は水平で，ばねと上皿の質量は無視できるものとする。大きさの無視できる質量 M のおもりを上皿に置く。重力加速度の大きさを g，鉛直上向きを x 軸の正の向きとし，ばねと上皿とおもりの運動は x 軸方向に限るものとする。ばねは常にフックの法則にしたがうものとして，以下の問に答えよ。



(1)　上皿におもりをのせて固定すると，ばねは自然長から $a =$ ［ 1 ］だけ縮んだ。この状態での上皿の位置を x 軸の原点とする。さらに上皿を b だけ押し下げてから静かに離すと，ばねは周期 $T =$ ［ 2 ］の単振動を行う。

今，$b = 2a$ とするとき，時刻 t の上皿の位置 x の時間変化の様子を表すグラフとしてもっとも適切なグラフは［ 3 ］である。ただし，上皿を離した瞬間を $t = 0$ とする。

［ 1 ］の解答群

① $\dfrac{Mg}{2k}$　② $\dfrac{Mg}{k}$　③ $\dfrac{3Mg}{2k}$　④ $\dfrac{2Mg}{k}$　⑤ $\dfrac{k}{2Mg}$

⑥ $\dfrac{k}{Mg}$　⑦ $\dfrac{3k}{2Mg}$　⑧ $\dfrac{2k}{Mg}$

［ 2 ］の解答群

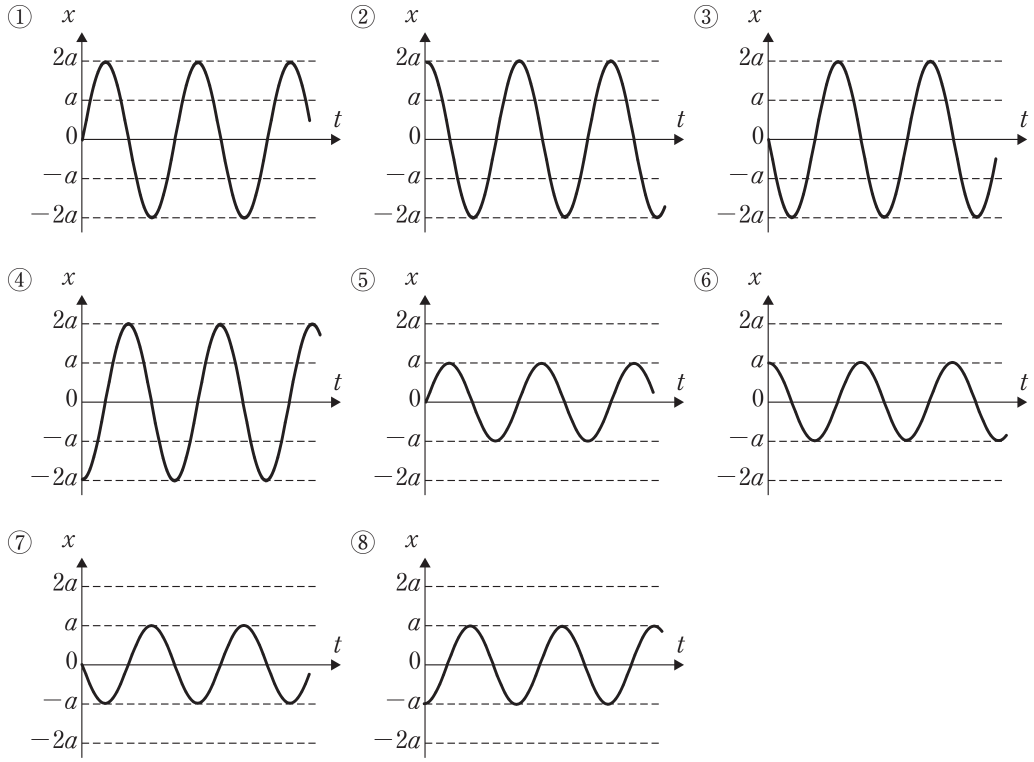
① $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{k}{M}}$　② $\dfrac{2\pi}{3}\sqrt{\dfrac{k}{M}}$　③ $\pi\sqrt{\dfrac{k}{M}}$　④ $2\pi\sqrt{\dfrac{k}{M}}$　⑤ $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{M}{k}}$

⑥ $\dfrac{2\pi}{3}\sqrt{\dfrac{M}{k}}$　⑦ $\pi\sqrt{\dfrac{M}{k}}$　⑧ $2\pi\sqrt{\dfrac{M}{k}}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

[3] の解答群



(2)　次に上皿におもりを固定せずにのせた。ばねが a だけ縮んだ後，さらに上皿を b だけ押し下げてから静かに離す。この場合，ばねは自然長より長くなることはない。なぜならば，おもりは上皿に固定されておらず，ばねと上皿に質量はなく慣性がないためである。

今，b が [4] より小さい場合には，おもりと上皿は(1)で求めた周期 T の単振動を行う。しかし，b が [4] より大きい場合は異なっている。上皿を静かに離した後ばねがのびて $x =$ [4] になったとき，上皿はそこで停止する一方，おもりは上皿から離れて鉛直上向きに運動を続ける。

おもりが上皿から離れる場合として，$b = 2a$ のときを考える。おもりが上皿から離れるときのおもりの運動エネルギーは [5] である。おもりは上皿を離れてから時間 [6] 後に最高点に達する。おもりの最高点の x 座標は [7] である。

(1)で考えたおもりを固定した場合の x のグラフを参考にすると，上皿を静かに離してからおもりが上皿から離れるまでの時間は [8] であることがわかる。以上の考察より，上皿を静かに離した瞬間を時刻 $t = 0$ とすると，おもりが最高点に達する時刻は [6] ＋ [8] である。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

4 の解答群

① $\dfrac{Mg}{3k}$　② $\dfrac{Mg}{2k}$　③ $\dfrac{Mg}{k}$　④ $\dfrac{4Mg}{3k}$　⑤ $L+\dfrac{Mg}{3k}$

⑥ $L+\dfrac{Mg}{2k}$　⑦ $L+\dfrac{Mg}{k}$　⑧ $L+\dfrac{4Mg}{3k}$

5 の解答群

① $\dfrac{M^2g^2}{2k}$　② $\dfrac{M^2g^2}{k}$　③ $\dfrac{3M^2g^2}{2k}$　④ $\dfrac{2M^2g^2}{k}$　⑤ $\dfrac{5M^2g^2}{2k}$

⑥ $\dfrac{3M^2g^2}{k}$　⑦ $\dfrac{7M^2g^2}{2k}$　⑧ $\dfrac{4M^2g^2}{k}$

6 の解答群

① $\sqrt{\dfrac{M}{2k}}$　② $\sqrt{\dfrac{M}{k}}$　③ $\sqrt{\dfrac{2M}{k}}$　④ $\sqrt{\dfrac{3M}{k}}$　⑤ $2\pi\sqrt{\dfrac{M}{2k}}$

⑥ $2\pi\sqrt{\dfrac{M}{k}}$　⑦ $2\pi\sqrt{\dfrac{2M}{k}}$　⑧ $2\pi\sqrt{\dfrac{3M}{k}}$

7 の解答群

① $\dfrac{Mg}{2k}$　② $\dfrac{Mg}{k}$　③ $\dfrac{3Mg}{2k}$　④ $\dfrac{2Mg}{k}$　⑤ $\dfrac{5Mg}{2k}$

⑥ $\dfrac{3Mg}{k}$　⑦ $\dfrac{7Mg}{2k}$　⑧ $\dfrac{4Mg}{k}$

8 の解答群

① $\sqrt{\dfrac{M}{2k}}$　② $\sqrt{\dfrac{M}{k}}$　③ $\sqrt{\dfrac{2M}{k}}$　④ $\sqrt{\dfrac{3M}{k}}$　⑤ $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{M}{k}}$

⑥ $\dfrac{2\pi}{3}\sqrt{\dfrac{M}{k}}$　⑦ $\pi\sqrt{\dfrac{M}{k}}$　⑧ $2\pi\sqrt{\dfrac{M}{k}}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第12講　慣性力

1

⑴　静止している電車の天井から，小球を軽い糸でつるした。電車が水平面上で等加速度直線運動を始めたところ，糸と鉛直線のなす角度がθとなった。このとき，重力加速度をgとすると，電車の加速度の大きさは（　　）である。（　　）に該当するものを，選択肢の中から選べ。

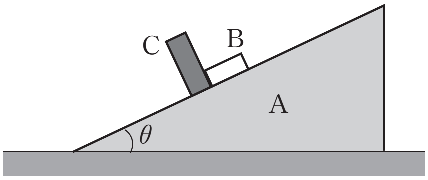
a　$g\cos\theta$　　b　$g\sin\theta$　　c　$g\tan\theta$　　d　$\dfrac{g}{\cos\theta}$

e　$\dfrac{g}{\sin\theta}$　　f　$\dfrac{g}{\tan\theta}$

⑵　伸び縮みせず質量の無視できるひもの一端をエレベータの天井に固定し，他端に質量5［kg］の物体を結び，静止させた。エレベータを一定の加速度$0.1g$［m/s^2］で上昇させたとき物体に働くひもの張力はいくらか。重力加速度をg［m/s^2］として，下記のうちで正しいものを選べ。

a．$3.5g$［N］　b．$4.0g$［N］　c．$5.5g$［N］　d．$6.5g$［N］　e．$7.5g$［N］

⑶　床の上に傾きθのなめらかな斜面Aがある。斜面上に置かれた物体Bは斜面に固定された支えCに接触して静止している。斜面Aが水平左向きに加速度運動するとき，Bが斜面に沿って上向きに動き出すには，Aの加速度の大きさはいくらより大きければよいか。θと重力加速度gを用いて答えなさい。



⑶の図

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

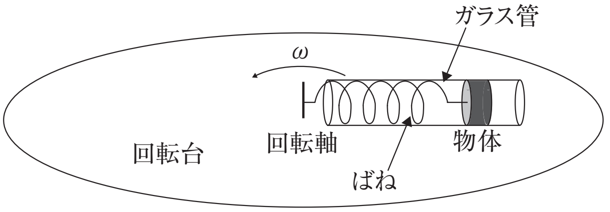
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，ばねにつながった質量 m の物体を回転台に固定したガラス管の中に入れ，ばねの一端を回転軸に固定する。回転台を一定の角速度 ω で水平面内で回転させた。ガラス管の中心線は回転軸を通り，回転軸と直交している。物体はガラス管内にぴったり収まり，かつ，ガラス管内を滑らかに動くことができる。ばねの自然の長さは l，ばね定数は k である。角速度 ω は，$k > m\omega^2$ の条件を満たすとする。



問１　ばねが自然の長さ l から一定の伸び x_0 だけ伸びた状態で回転している場合について考える。

(i)　次の文章の空欄に入る適当な語句または式を，解答欄に記入せよ。

この物体は等速円運動しているので，円運動の中心に向かう (1) と呼ばれる力が作用している。この力の大きさは角速度 ω を用いると (2) で表せる。この場合，ばねの弾性力がこの力の役割をはたしている。しかし，回転台とともに回転している観測者からみると，この物体は静止しており，ばねの弾性力につり合う力が働いているようにみえる。このみかけの力は等速円運動の場合， (3) と呼ばれる。また，このように観測者が等加速度運動や等速円運動しているときに現れるみかけの力は，物体の (4) に比例し，一般に (5) と呼ばれる。

(ii)　回転している観測者からみた物体に働く力のつり合いの式を示せ。また，この式より，伸び x_0 を求めよ。

問２　物体が，問１におけるつり合いの位置を中心に，ガラス管に沿ってわずかに振動しながら回転している場合について考える。

(i)　ある瞬間において，つり合いの位置からのずれを x' とする。このとき，回転している観測者から見た場合，物体に働くみかけの力を含む合力 F を，$F = -k_a x'$ と書き表すことにする。このときの k_a を求めよ。

(ii)　物体が振動している周期 T [s] は，回転台を止めた状態で振動させたときの周期に比べ，長いか，短いか，答えよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

次の文章中の［　　　］に入る最も適当なものを，それぞれ解答群のうちから一つずつ選び，番号で答えよ。

図1のように，水平面と角αをなす十分に長いなめらかな斜面上を，質量Mの箱がすべり降りている。箱の中には長さlの伸び縮みしない軽い糸で質量mの小さなおもりがつるされていて，おもりは箱に対して静止している。このとき，おもりをつるしている糸と鉛直線とのなす角をβとする。箱の質量Mは，おもりの質量mに比べて十分に大きく，おもりの運動は箱の運動には影響を与えないとする。また，重力加速度の大きさをgとする。
箱がすべり降りる加速度の大きさをaとすると

$a =$ ［　ア　］　……(1)

である。おもりは箱に対して静止しているから，糸の張力の大きさSとすると，おもりについて

鉛直方向のつりあいの式は ［　イ　］ $= 0$　……(2)

水平方向のつりあいの式は ［　ウ　］ $= 0$　……(3)

である。式(1)，(2)，(3)から，$S =$ ［　エ　］，$\beta =$ ［　オ　］であることがわかる。

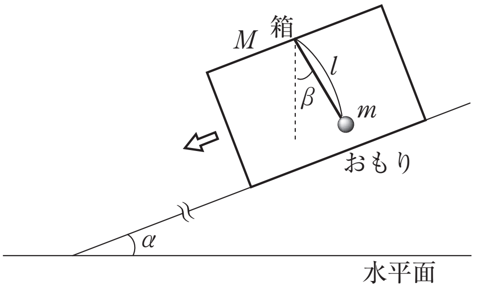


図1

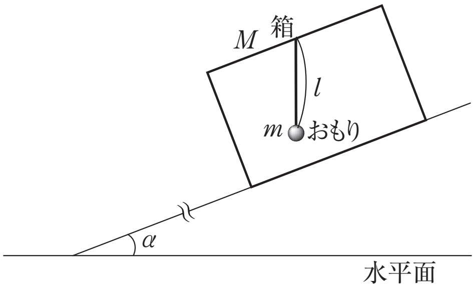


図2

次に図2のように，斜面上で箱とおもりを静止させたのち（$\beta = 0$），初速0で静かにはなしたところ，箱は斜面をすべり，おもりは箱に対して振動運動をした。ただし，おもりは箱と衝突しないものとする。このとき，糸と鉛直線とのなす角の最大値は［　カ　］である。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ア の解答群

① $g\sin\alpha$　② $g\cos\alpha$　③ $g\tan\alpha$

④ $\dfrac{g}{\sin\alpha}$　⑤ $\dfrac{g}{\cos\alpha}$　⑥ $\dfrac{g}{\tan\alpha}$

イ の解答群

① $mg-S\cos\beta$　② $mg-S\cos\beta-ma$　③ $mg-S\cos\beta-ma\sin\alpha$

④ $mg-S\cos\beta-ma\cos\alpha$　⑤ $mg-S\cos\beta-ma\tan\alpha$

ウ の解答群

① $S\sin\beta-ma$　② $S\sin\beta-ma\sin\alpha$　③ $S\sin\beta-ma\cos\alpha$

④ $S\sin\beta-ma\tan\alpha$

エ の解答群

① $mg\sin\alpha$　② $mg\cos\alpha$　③ $mg\tan\alpha$

④ $\dfrac{mg}{\sin\alpha}$　⑤ $\dfrac{mg}{\cos\alpha}$　⑥ $\dfrac{mg}{\tan\alpha}$

オ の解答群

① $\dfrac{\alpha}{3}$　② $\dfrac{\alpha}{2}$　③ $\dfrac{2}{3}\alpha$　④ α　⑤ $\dfrac{4}{3}\alpha$　⑥ $\dfrac{3}{2}\alpha$

カ の解答群

① $\dfrac{\alpha}{4}$　② $\dfrac{\alpha}{2}$　③ α　④ $\dfrac{3}{2}\alpha$　⑤ 2α　⑥ 3α

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

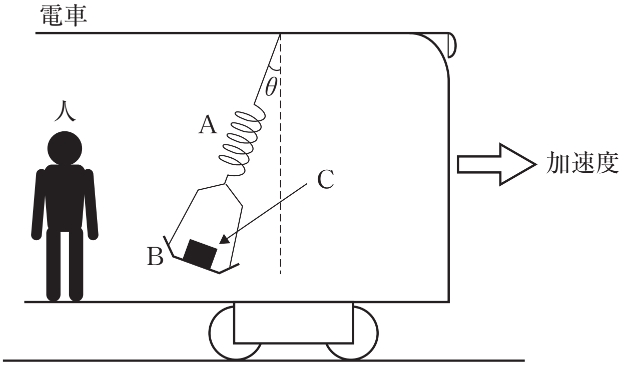
第12講　確認テスト

物体の運動に関する次の文章（[A]，[B]）を読み，以下の問の空所［　　］に入る適語を解答群から選択せよ。

[A]　宇宙ステーションの中のような無重力（無重量）状態に最も近いものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。［ 1 ］

① 高速で等速直線運動する飛行機の中
② 打ち上げ直後の加速上昇中のロケットの中
③ 急ブレーキをかけた自動車の中
④ 急カーブを回っている自動車の中
⑤ 自由落下する遊具（フリーフォール）の中
⑥ 一定速度で下降するエレベーターの中

[B]　図のように，矢印の向きに一定の加速度で加速している電車の天井に，ばね定数 k [N/m] の軽いばねAをつり下げ，下端に質量 m [kg] の小さな皿Bを取り付けた。さらに，Bの上に質量 M [kg] の小物体Cを静かに載せたところ，鉛直から角度 θ [rad] だけ傾いてA，B，Cは静止した。ただし，A，B，Cの運動は電車内にいる人が観測するものとし，重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。



問1　電車の加速度の大きさを電車の外の人が観測すると［ 2 ］[m/s^2] である。

解答群

① $g\tan\theta$　② $g(1+\tan\theta)$　③ $g(1-\tan\theta)$　④ $g\sqrt{1+\tan^2\theta}$

⑤ $g\sqrt{1-\tan^2\theta}$　⑥ $\dfrac{g}{\tan\theta}$　⑦ $\dfrac{g}{1+\tan\theta}$　⑧ $\dfrac{g}{1-\tan\theta}$

⑨ $\dfrac{g}{\sqrt{1+\tan^2\theta}}$　⑩ $\dfrac{g}{\sqrt{1-\tan^2\theta}}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問2　A は自然な長さから [3] [m] だけのびている。

解答群

① $\dfrac{Mg}{k}\cdot\tan\theta$　② $\dfrac{Mg}{k}\cdot\sqrt{1+\tan^2\theta}$　③ $\dfrac{Mg}{k}\cdot\sqrt{1-\tan^2\theta}$

④ $\dfrac{mg}{k}\cdot\tan\theta$　⑤ $\dfrac{mg}{k}\cdot\sqrt{1+\tan^2\theta}$　⑥ $\dfrac{mg}{k}\cdot\sqrt{1-\tan^2\theta}$

⑦ $\dfrac{(M+m)g}{k}\cdot\tan\theta$　⑧ $\dfrac{(M+m)g}{k}\cdot\sqrt{1+\tan^2\theta}$　⑨ $\dfrac{(M+m)g}{k}\cdot\sqrt{1-\tan^2\theta}$

問3　つぎに，角度 θ を保ったまま A をさらに L [m] だけ引きのばして静かに放したところ，B と C は一体となって単振動を始めた。このときの単振動の周期は [4] [s] である。

解答群

① $2\pi\sqrt{\dfrac{M}{k}}$　② $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　③ $2\pi\sqrt{\dfrac{M+m}{k}}$

④ $2\pi\tan\theta\sqrt{\dfrac{M}{k}}$　⑤ $2\pi\tan\theta\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　⑥ $2\pi\tan\theta\sqrt{\dfrac{M+m}{k}}$

⑦ $2\pi\sqrt{\dfrac{M(1+\tan^2\theta)}{k}}$　⑧ $2\pi\sqrt{\dfrac{m(1+\tan^2\theta)}{k}}$　⑨ $2\pi\sqrt{\dfrac{(M+m)(1+\tan^2\theta)}{k}}$

⑩ $2\pi\sqrt{\dfrac{M(1-\tan^2\theta)}{k}}$　⑪ $2\pi\sqrt{\dfrac{m(1-\tan^2\theta)}{k}}$　⑫ $2\pi\sqrt{\dfrac{(M+m)(1-\tan^2\theta)}{k}}$

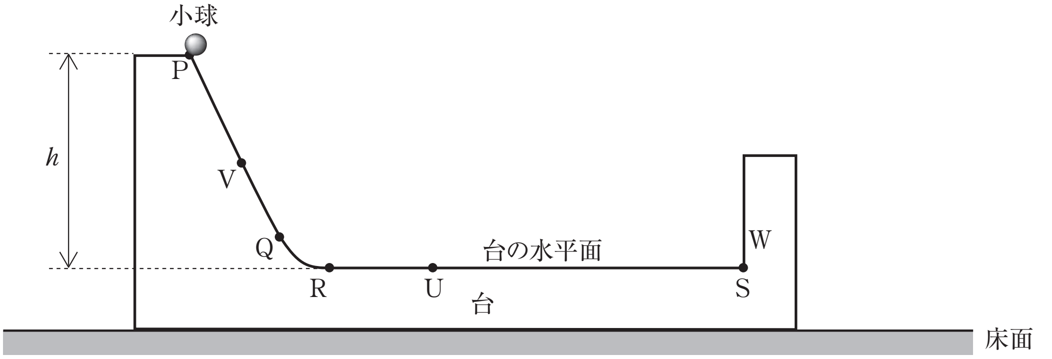
©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第13講　2体問題

1

図のように，頂点Pから点Qにいたる斜面と水平面RS，および点Sにおいて水平面に対して垂直な壁Wをもつ質量Mの台が，滑らかで水平な床面の上に静止している。点Qと点Rは滑らかにつながっている。また，頂点Pは図のように台の水平面RSから鉛直高さhの位置にある。この台の頂点Pから，大きさが無視できる質量mの小球を静かにはなす。小球と台との間，および台と床面との間に摩擦はないものとする。図中において，点Uは台の水平面上の一点である。なお，小球が台上を運動するとき，小球が台上から離れることはなく，台が傾くこともないものとする。小球と壁Wとの衝突のはねかえり係数をe，重力加速度の大きさをgとして，次の各問に答えなさい。答えは各問の解答群の中から最も適切なものを一つ選びなさい。



(1)　点Pで静かにはなされた小球が斜面PQおよび曲面QRに沿ってすべりおりて，最初に点Uに到達したときの，小球と台のそれぞれの床面に対する速度を求めなさい。ただし，速度は右向きを正にとるものとする。

(2)　台をすべりおりた小球は水平面を通過した後に台の右側の壁Wに衝突して再び点R方向へはね返った。壁Wで衝突した直後の小球と台のそれぞれの床面に対する速度を求めなさい。ただし，速度は右向きを正にとるものとする。

(3)　最初に小球が斜面PQおよび曲面QRに沿ってすべりおりたのち，点Uから壁Wに到達するのに要する時間をT_1，壁Wで衝突した直後から点Uに到達するまでに要する時間をT_2とする。T_2はT_1の何倍となるか求めなさい。

(4)　小球は壁Wで最初に衝突した後，点Rを通り過ぎて再び台の斜面に沿って登り，斜面上の点Vまで到達した後，再び斜面をすべりおりた。点Vの台の水平面からの鉛直高さを求めなさい。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(5)　点Vの台の水平面からの鉛直高さが h の $\frac{1}{4}$ となったとき，小球と壁Wとの衝突のはねかえり係数 e はいくらか求めなさい。

〔解答群〕

(1)

ア．小球 $\sqrt{\frac{2ghm}{M+m}}$　　台 $-\frac{M}{m}\sqrt{\frac{2ghm}{M+m}}$

イ．小球 $\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$　　台 $-\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$

ウ．小球 $\sqrt{\frac{ghM}{M+m}}$　　台 $-\frac{m}{M}\sqrt{\frac{ghM}{M+m}}$

エ．小球 $\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$　　台 $-\frac{m}{M}\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$

オ．小球 $\sqrt{\frac{2ghm}{M+m}}$　　台 $-\frac{m}{M}\sqrt{\frac{2ghm}{M+m}}$

(2)

ア．小球 $-e\sqrt{\frac{2ghm}{M+m}}$　　台 $e\frac{M}{m}\sqrt{\frac{2ghm}{M+m}}$

イ．小球 $-e\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$　　台 $e\frac{m}{M}\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$

ウ．小球 $-e\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$　　台 $e\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$

エ．小球 $-\frac{1}{e}\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$　　台 $\frac{1}{e}\frac{m}{M}\sqrt{\frac{2ghM}{M+m}}$

オ．小球 $-\frac{1}{e}\sqrt{\frac{ghM}{M+m}}$　　台 $\frac{1}{e}\frac{m}{M}\sqrt{\frac{ghM}{M+m}}$

(3)

ア．$\frac{1}{e^2}$　　イ．$\frac{m}{eM}$　　ウ．$\frac{M}{em}$　　エ．$\frac{em}{M}$　　オ．$\frac{1}{e}$

(4)

ア．$\frac{e^2mh}{M}$　　イ．eh　　ウ．e^2h　　エ．$\frac{m}{eM}h$　　オ．$\frac{eMh}{m}$

(5)

ア．0.25　　イ．0.5　　ウ．0.75　　エ．0.1　　オ．1

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

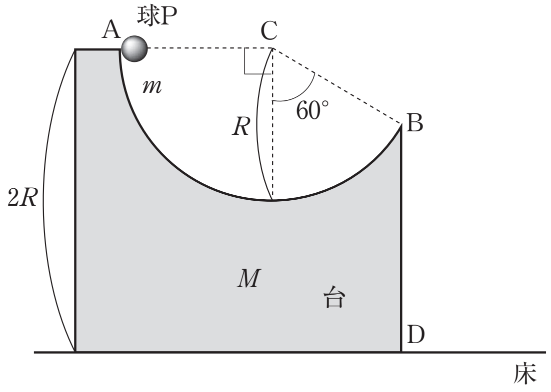
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

以下の問の答を記入せよ。

高さ $2R$ の直方体の上部を半円柱状に削って作った図のような台を，水平な床の上に置いた。削った円柱の半径を R，円柱の中心をCとして，CAは床に平行で，CBは鉛直方向と60°の角度をなしており，それより右側は切断されている。Dは台の右端下が床と接する点であり，BDは床に垂直である。また，この台の質量を M，重力加速度を g とする。



はじめに台を床に固定し，図のように大きさの無視できる質量 m の球PをA点で静かにはなす。台と球Pの間の摩擦，および空気抵抗は無視できるものとする。

問1　B点から飛び出す直前の球Pの速さを求めよ。

問2　球PがB点から飛び出す直前の，B点からC点に向かう方向の球Pの加速度を求めよ。

問3　球PがB点から飛び出す直前に，球Pが台から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。

問4　球PがB点から飛び出した後に最高点に達したときの，球Pの床からの高さを求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

次に台を滑らかな床の上に置き，大きさの無視できる質量 m の球Ｐを A 点から静かにはなす。台と球Ｐの間の摩擦，台と床の間の摩擦，および空気抵抗は無視できるものとする。球Ｐが B 点から飛び出した瞬間の, 床から見た, 球Ｐの速度の床に平行な成分（右向きを正）を v_x，床に垂直な成分（上向きを正）を v_y，台の速度（右向きを正）を V とする。

問５　台と球Ｐの全力学的エネルギーについて，球Ｐが A 点を離れたときのエネルギーと，B 点から飛び出すときのエネルギーとの間に成り立つ関係式をかけ。ただし，A 点の位置エネルギーを０とする。

問６　台と球Ｐの全運動量の床に平行な成分について，球Ｐが A 点を離れたときの値と，B 点から飛び出すときの値との間に成り立つ関係式をかけ。

問７　台とともに動く観測者から見たとき，B 点から飛び出す球Ｐの方向は水平方向から 60° 上向きである。このことから v_y を v_x，V を用いて表せ。

問８　$\dfrac{m}{M}=\alpha$ としたとき，v_x を g，R，α を用いて表せ。

問９　$m=M$ のとき，球Ｐが B 点から飛び出した後に最高点に達したときの，球Ｐの床からの高さを求めよ。

問10　M を m に比べて十分大きくしていくと，球Ｐが B 点から飛び出す瞬間の速さはどのような値に近づくか。

ⓒRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

質量 m の小球Aと質量 $2m$ の小球Bを，ばね定数 k の軽いばねの両端に固定し，図1のように，なめらかな水平面上を，鉛直な壁に向けて移動させた。移動の向きに座標軸をとると，小球AとBの速度は一定でともに v_0 であった。小球Bは壁と垂直に衝突し，図2のように，衝突直後の速度は $-\dfrac{v_0}{2}$ であった。衝突後，ばねは縮み，小球AとBが一瞬静止したとき，図3のように，小球Bは壁から s の距離にあった。その後，小球Bは壁と二度目の衝突をした。

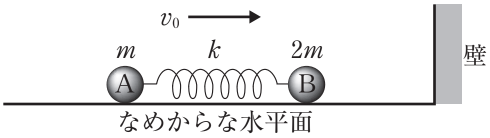


図1

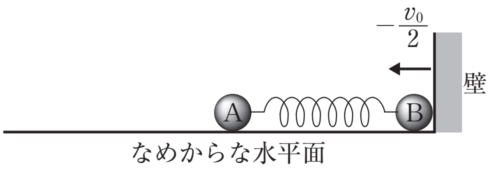


図2

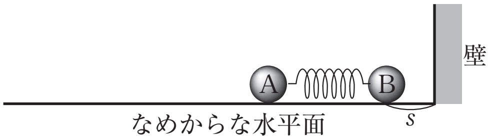


図3

問1．小球Bと壁との間の反発係数（はねかえり係数）はいくらか。

問2．一度目の衝突から二度目の衝突までの間，小球AとBの重心の速さはいくらか。

二度目の衝突後，ばねは伸び縮みをしながら，小球AとBは図4のように左向きに移動した。以上の運動を，小球AとBの重心Gからみると，小球AとBがそれぞればね定数 k_A と k_B のばねを介して重心Gにつながれ，同じ振動数 f で単振動をしているように見えた。

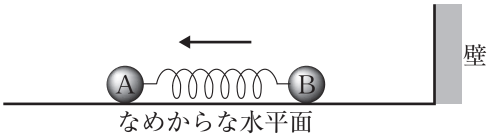


図4

問3．ばね定数 k_A と k_B を k を用いてそれぞれ表せ。

問4．振動数 f を k と m を用いて表せ。

問5．図3の距離 s を k，m，v_0 で表せ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第13講　確認テスト

以下の問の空所に入る適語を解答群から選択せよ。

問1　2つの物体A，Bは質量がそれぞれm，Mであり，これら2物体はx軸上を運動している。簡単のため，2物体の大きさは無視できるとする。ある時刻tにおいて，A，Bの位置の座標がそれぞれx_A，x_Bであったとして，次の問に答えよ。

2つの物体AとBの重心の速度v_Gは，2物体の全体の運動量に比例するので，A，Bが外力を受けなければ，AとBの重心は静止するかまたは等速直線運動をすることがわかる。このことは，AとBがたがいに力をおよぼしあう場合にも，A，Bが外力を受けないかぎり成り立つ。いま，自然の長さL，ばね定数kのばねの両端に，質量m，Mの2つの小物体A，Bをつけ，なめらかな水平面上に置く。ばねを自然の長さからdだけ押し縮めてA，Bを静止させた状態から静かにはなすと，A，Bはたがいに反対の向きに動き出した。このあと，ばねが最初に自然の長さに戻った瞬間を時刻$t=0$とし，このときのAの位置を原点Oとして，図1のように水平方向右向きにx軸をとる。Bは$t=0$のときにちょうど$x=L$の位置にきている。ばねの質量および空気の抵抗は無視できるとして，以下の問に答えよ。

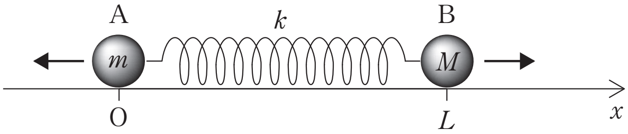


図1

(1)　$t=0$の瞬間の，小物体Aの速さはいくらか。正しいものを，次の①～⑩のうちから一つ選べ。［1］

① $d\sqrt{\dfrac{k}{2m}}$　　② $d\sqrt{\dfrac{k}{m}}$

③ $d\sqrt{\dfrac{k}{2M}}$　　④ $d\sqrt{\dfrac{k}{M}}$

⑤ $d\sqrt{\dfrac{k}{m+M}}$　　⑥ $d\sqrt{\dfrac{km}{M(m+M)}}$

⑦ $d\sqrt{\dfrac{kM}{m(m+M)}}$　　⑧ $d\sqrt{\dfrac{k(m+M)}{mM}}$

⑨ $d\dfrac{M}{m}\sqrt{\dfrac{k}{m+M}}$　　⑩ $d\dfrac{m}{M}\sqrt{\dfrac{k}{m+M}}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)　$t=0$ の瞬間のあとの，ある時刻 t での A の座標を x_A とする。時刻 t での B の座標は，x_A を用いてどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑪のうちから一つ選べ。 2

① L　② $L-x_A$

③ $L+x_A$　④ $L-\frac{m}{M}x_A$

⑤ $L+\frac{m}{M}x_A$　⑥ $L-\frac{M}{m}x_A$

⑦ $L+\frac{M}{m}x_A$　⑧ $L-\frac{m}{m+M}x_A$

⑨ $L+\frac{m}{m+M}x_A$　⑩ $L-\frac{M}{m+M}x_A$

⑪ $L+\frac{M}{m+M}x_A$

(3)　時刻 t において，A がばねから受ける力を求めると，x_A に比例し原点 O に向かう復元力となっていることがわかる。したがって，A は原点 O を中心とした単振動をする。この単振動の周期を T とすると，$T=$ 3 となる。また，小物体 B も同じ周期 T で単振動をすることがわかり，結局，A と B は，つねにたがいに反対向きに運動しながら，それぞれ単振動をする。 3 を埋めるのに正しいものを，次の①～⑩のうちから一つ選べ。

① $2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$　② $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

③ $2\pi\frac{\sqrt{kM}}{m}$　④ $2\pi\frac{m}{\sqrt{kM}}$

⑤ $2\pi\sqrt{\frac{k}{m+M}}$　⑥ $2\pi\sqrt{\frac{m+M}{k}}$

⑦ $2\pi\sqrt{\frac{k(m+M)}{mM}}$　⑧ $2\pi\sqrt{\frac{mM}{k(m+M)}}$

⑨ $2\pi\sqrt{\frac{k(2m+M)}{m(m+M)}}$　⑩ $2\pi\sqrt{\frac{m(m+M)}{k(2m+M)}}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問２　次に，問１の，ばねで連結された２つの小物体 A，B を，なめらかな水平面上で静止させた。このとき，ばねは自然の長さになっており，A は原点 O に，B は $x=L$ の位置に静止している。いま，図２のように，質量 $\frac{m}{2}$ の小物体 C が，x 軸上を正の向きに進んできて，速さ u で A に弾性衝突した。C と A の衝突は瞬間的におこるものとし，x 軸の正の向きを速度の正の向きとして，以下の問に答えよ。

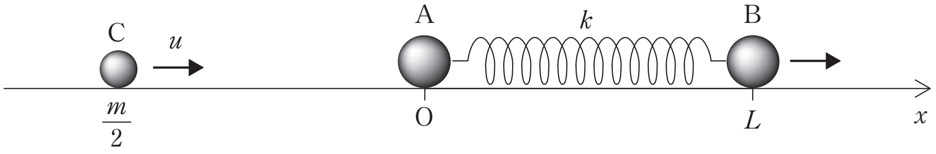


図２

(4)　C と A の衝突直後の，C の速度はいくらか。正しいものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ。 4

① $-u$　② $-\frac{2}{3}u$　③ $-\frac{1}{2}u$　④ $-\frac{1}{3}u$

⑤ 0　⑥ $\frac{1}{3}u$　⑦ $\frac{1}{2}u$　⑧ $\frac{2}{3}u$

⑨ u

(5)　C と A の衝突後，A と B はたがいに近づいたり遠ざかったりして振動しながら進んでいく。このときの A と B の重心の速度はいくらか。正しいものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ。 5

① $\frac{1}{3}u$　② $\frac{2}{3}u$　③ u　④ $\frac{m}{3M}u$

⑤ $\frac{2m}{3M}u$　⑥ $\frac{m}{M}u$　⑦ $\frac{m}{3(m+M)}u$　⑧ $\frac{2m}{3(m+M)}u$

⑨ $\frac{m}{m+M}u$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第14講　万有引力

1

次の［　　］に当てはまる数式を答えよ。

地球の半径を R，質量を M，万有引力定数を G としたとき，地表にある質量 m の物体と地球との間に働く万有引力の大きさは［①］と表される。地表での重力加速度 g を使えば，同じ物体に働くこの力は［②］と表される。したがって重力加速度 g は，G と R と M で表せば $g =$［③］となる。

地表の近くを運動している人工衛星を考えよう。半径 R，速さ v で等速円運動している人工衛星の加速度の大きさは［④］である。運動方程式から，人工衛星の速さは g を用いて $v =$［⑤］と表される。これを第1宇宙速度と呼び，約 7.9 [km/s] である。

地表近くに質量 m の人工衛星がある。この人工衛星の万有引力による位置エネルギーは，G と R を用いれば［⑥］と表される。したがって，地表から速さ v で打ち上げられた質量 m の人工衛星の持つ力学的エネルギーは，$E =$［⑦］と表すことができる。力学的エネルギー保存の法則から，$E \geqq 0$ であれば，人工衛星は地球から無限遠方に脱出できる。脱出できる条件は g を用いて $v \geqq$［⑧］となる。脱出するための最小の速さを第2宇宙速度という。第2宇宙速度と第1宇宙速度の比は，地球でも他の惑星でも同じである。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

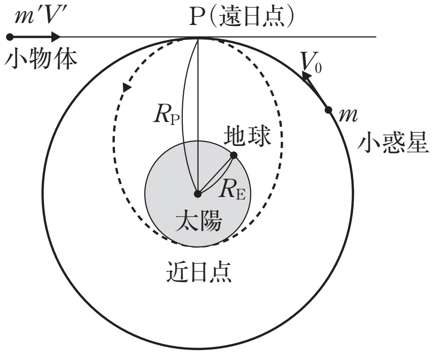
< Note >

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

質量 M の太陽のまわりを回っている質量 m の小惑星がある。図のように，この小惑星および地球の公転軌道は円とみなすことができ，その公転半径は R_P，R_E である。ケプラーの３法則および万有引力の法則を用いて次の問に答えよ。ただし，太陽の万有引力のみを考慮し，他の惑星の影響は無視してよい。万有引力定数を G とする。



ケプラーの３法則は次のとおりである。

第１法則：惑星は太陽を焦点とする楕円軌道を描く。

第２法則：惑星と太陽とを結ぶ線分が単位時間に掃引する面積（面積速度）は惑星の軌道上あらゆる点で一定である。

第３法則：惑星が太陽のまわりを回る周期の２乗は，楕円軌道の長半径の３乗に比例する。その比例定数は惑星によらず一定である。

(1)　小惑星の速さ V_0 を G，M，R_P で表せ。

図のように質量 m'，速さ V' の小物体が小惑星の軌道の接線方向から飛んで来て，点Pで小惑星に正面衝突して一体となった。小惑星の公転の向きは変わらなかったが，小惑星の公転軌道は楕円となった。近日点における太陽との間の距離は地球公転軌道半径 R_E に等しく，遠日点における太陽との間の距離はもとの公転軌道半径 R_P に等しかった。次の問に答えよ。

(2)　衝突直後の小惑星の速さ u_f を m，m'，V_0，V' を用いて表せ。

(3)　衝突後，太陽から r の距離にあり，速さ V で楕円運動している小惑星の力学的エネルギー E を m，m'，r，V，G，M を用いて表せ。ただし，位置エネルギーは無限遠方をゼロとする。

(4)　小惑星の近日点における速さ u_n と遠日点における速さ u_f との比 u_n/u_f を求めよ。

(5)　u_f を G，M，R_E，R_P を用いて表せ。

(6)　衝突後，小惑星が最初に近日点にやってくるのは何年後か。ただし，R_P は R_E の３倍，１年は 3.14×10^7 秒とし，有効数字２桁で答えを求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

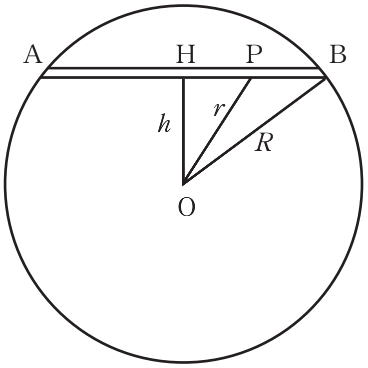
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図でABは地球に掘った直線状の細いトンネルである。いま，地球を半径 R，一様な密度 ρ の球として，トンネルにそった質点の直線運動を考える。ただし，地球の自転の影響，摩擦および空気の抵抗は無視する。



（1）質量 m の質点に働く地表での重力 mg（g は地表における重力の加速度）は，地球の全質量 M がその中心Oに集まったとして，それと質点との間の万有引力に等しい。万有引力定数を与えられた文字で表せ。

トンネル内の任意の一点P（$\mathrm{OP}=r$）で質点に働く重力は，Oを中心とした半径OPの球の質量が中心Oに集まったとして，それと質点との間の万有引力に等しく，この球の外側の部分は，この点での重力には無関係であることが知られている。

（2）トンネル内の任意の1点Pにおいて

(a) 質点に働く重力の大きさを m，g，r，R で表せ。

(b) 重力のトンネルの方向の分力の大きさを m，g，R，x で表せ。ただし，図ではHはOからABに下した垂線の足で，$x=\mathrm{HP}$ である。

トンネルにそった質点の運動は単振動となる。

（3）トンネル内での質点の単振動の周期を求めよ。

（4）トンネル内で質点に働くトンネルの方向の力が，（2）(b)で求められることを考慮して

(a) 点Hを位置エネルギーの基準点にとり，点Bにおける質点の位置エネルギーを m，g，R，h で表せ。

(b) 質点が点Bで静止の状態から運動を始めるとして，質点が点Hを通過するときの速さを g，R，h で表せ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

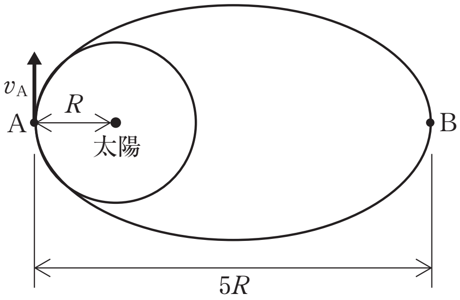
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第14講　確認テスト

以下の [1] から [9] にあてはまる答えを各解答群から1つ選び, マークせよ。ただし, 解答が数値の場合は最も近い値を正解とする。また, 同じ番号の解答をくりかえし選んでもよい。

宇宙船がエンジンを切って, 質量 M の太陽のまわりを公転周期 T, 半径 R の等速円運動をしている。万有引力定数を G として以下の問に答えよ。ただし惑星の重力による影響はないものとする。



(1)　この宇宙船の速さは [1] である。また, 宇宙船の質量を m とすると, 宇宙船にはたらく向心力の大きさは [2] である。

[1] の解答群

① $\dfrac{R}{2T}$　② $\dfrac{2R}{3T}$　③ $\dfrac{R}{T}$　④ $\dfrac{2R}{T}$

⑤ $\dfrac{\pi R}{2T}$　⑥ $\dfrac{2\pi R}{3T}$　⑦ $\dfrac{\pi R}{T}$　⑧ $\dfrac{2\pi R}{T}$

[2] の解答群

① $\dfrac{\pi mR}{2T^2}$　② $\dfrac{\pi mR}{T^2}$　③ $\dfrac{2\pi mR}{T^2}$　④ $\dfrac{4\pi mR}{T^2}$

⑤ $\dfrac{\pi^2 mR}{2T^2}$　⑥ $\dfrac{\pi^2 mR}{T^2}$　⑦ $\dfrac{2\pi^2 mR}{T^2}$　⑧ $\dfrac{4\pi^2 mR}{T^2}$

太陽と宇宙船との間の万有引力の大きさは [3] である。この万有引力が向心力となるので, 関係式 $\dfrac{R^3}{T^2}=$ [4] が成り立つ。したがって公転周期と軌道半径を測定すると, 太陽質量は $M=$ [5] と求められる。

[3] の解答群

① $G\dfrac{mM}{2R}$　② $G\dfrac{mM}{R}$　③ $2G\dfrac{mM}{R}$　④ $4G\dfrac{mM}{R}$

⑤ $G\dfrac{mM}{2R^2}$　⑥ $G\dfrac{mM}{R^2}$　⑦ $2G\dfrac{mM}{R^2}$　⑧ $4G\dfrac{mM}{R^2}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

4 の解答群

① $\dfrac{GM}{4\pi^2}$　② $\dfrac{GM}{2\pi^2}$　③ $\dfrac{GM}{\pi^2}$　④ $\dfrac{2GM}{\pi^2}$

⑤ $\dfrac{\pi^2 GM}{4}$　⑥ $\dfrac{\pi^2 GM}{2}$　⑦ $\pi^2 GM$　⑧ $2\pi^2 GM$

5 の解答群

① $\dfrac{\pi^2 R^3}{2GT^2}$　② $\dfrac{\pi^2 R^3}{GT^2}$　③ $\dfrac{2\pi^2 R^3}{GT^2}$　④ $\dfrac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$

⑤ $\dfrac{\pi^2 GR^3}{2T^2}$　⑥ $\dfrac{\pi^2 GR^3}{T^2}$　⑦ $\dfrac{2\pi^2 GR^3}{T^2}$　⑧ $\dfrac{4\pi^2 GR^3}{T^2}$

(2) さて，宇宙船が図の点Aに来た時，接線方向に瞬間的にエンジンを噴射させて，その速さを v_A に増加させたのちエンジンを切った。その結果，宇宙船の軌道は長軸ABの長さが $5R$ の楕円軌道となった。点Aにおける宇宙船の面積速度（宇宙船と太陽を結ぶ線分が単位時間に通過する面積）の大きさは 6 である。これを図の点Bにおける面積速度の大きさと比べると，v_A と点Bにおける速さ v_B の比が $\dfrac{v_A}{v_B}=$ 7 と求められる。したがって，力学的エネルギー保存則により $v_A=$ 8 $\times\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$ となる。

6 の解答群

① $\dfrac{1}{4}v_A$　② $\dfrac{1}{2}v_A$　③ $2v_A$　④ $4v_A$

⑤ $\dfrac{1}{4}Rv_A$　⑥ $\dfrac{1}{2}Rv_A$　⑦ Rv_A　⑧ $2Rv_A$

7 の解答群

① $\dfrac{1}{4}$　② $\dfrac{1}{2}$　③ $\dfrac{2}{3}$　④ 1

⑤ $\dfrac{3}{2}$　⑥ 2　⑦ 4　⑧ 5

8 の解答群

① $\dfrac{1}{2}$　② $\sqrt{\dfrac{3}{8}}$　③ $\sqrt{\dfrac{1}{2}}$　④ 1

⑤ $\sqrt{\dfrac{8}{5}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{8}{3}}$　⑦ $\sqrt{3}$　⑧ 2

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)　点Aにおける速さ v_A を変化させると，軌道も変化する。この宇宙船が太陽系の外に飛び出すためには v_A は $\boxed{\quad 9 \quad}\times\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$ 以上でなければならない。ただし(2)と同じく，エンジンは点Aにおいてのみ噴射するものとする。

$\boxed{\quad 9 \quad}$ の解答群

① $\sqrt{\dfrac{1}{3}}$　② $\sqrt{\dfrac{1}{2}}$　③ $\sqrt{\dfrac{5}{8}}$　④ 1

⑤ $\sqrt{2}$　⑥ $\sqrt{3}$　⑦ 2　⑧ $\sqrt{5}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第15講　総合演習2

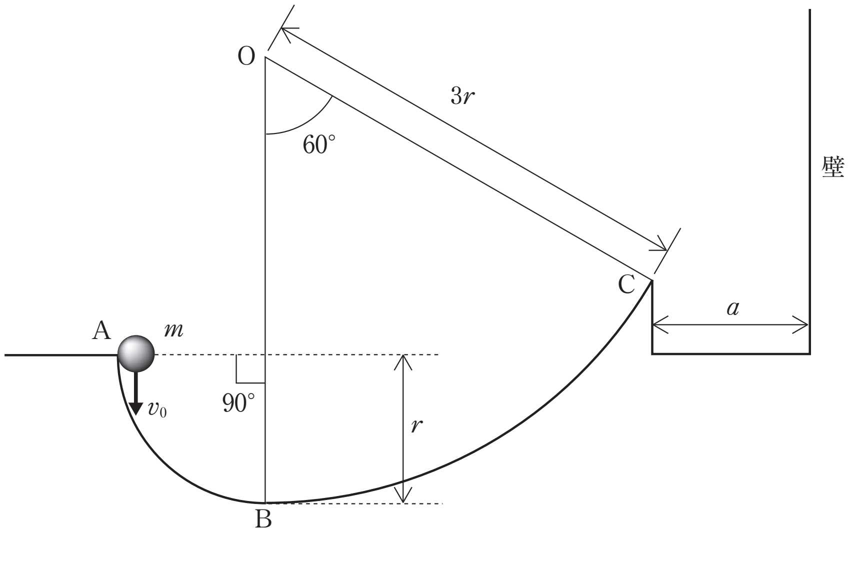
1

図はスノーボード用の滑走コースの断面図である。半径 r の円弧 AB が，点 O を中心とする半径 $3r$ の円弧 BC に点 B で滑らかに接続されている。図中の OB は鉛直で，円弧 AB の中心角は 90 度，円弧 BC の中心角は 60 度である。円弧 BC の右端の点 C から右側に距離 a だけ離れた位置には，図に示した断面に垂直で鉛直な壁がある。スノーボードや人の大きさは，滑走コースの大きさに比べて無視できるほど小さいため，スノーボードと人を合わせて一つの小球と考えてよい。所持品などを含めた人の質量とスノーボードの質量の合計が m であるとして，以下では，人とスノーボードを合わせて「ボード」と略して呼ぶことにする。このとき，点 A からボードを鉛直下向きの初速 v_0 で滑走させた後の運動を考える。ただし，円弧 AB と BC に沿った面とボードの間には摩擦が無く，空気抵抗も無視できるものとし，重力加速度の大きさを g とする。また，運動はこの断面内に限られるものとする。以下の問に答えよ。

(1)　初速 $v_0 = 0$ で点 A から滑走を開始したボードが点 B を右向きに通過した。

(a)　点 B でのボードの速さ v_1 を，m，r，g の中から必要なものを用いて表せ。

(b)　点 B を通過する直前と直後にボードがコースから受ける垂直抗力を，それぞれ N，N' とする。それらの比 $\dfrac{N'}{N}$ を求めよ。ただし，ボードが点 B を通過する直前と直後の運動は，それぞれ等速円運動と考えてよい。



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)　次に，初速を $v_0 = 2\sqrt{gr}$ としたところ，ボードは点Cから速さ v_2 で飛び出した。その後ボードは壁に衝突してはねかえった。ただし，ボードと壁の反発係数を e（$0 < e < 1$）とする。

(a)　v_2 を，m，r，g の中から必要なものを用いて表せ。

(b)　点Cから飛び出したボードは壁に垂直に衝突した。距離 a を，m，r，g の中から必要なものを用いて表せ。

(c)　問(2)(b)のようにボードが壁に垂直に衝突した場合には，そのままではボードは円弧のコース上に戻ることができない。コース上に戻るために，壁に衝突してボードがはねかえった直後に，人が持っていた質量 m_1 の物体を，図に示した断面内で水平に投げ捨てることを考える。投げ捨てた直後における，物体とボードとの相対的な速さを v_3 としたところ，ボードは点Cに戻った。v_3 を，m，m_1，r，g，e の中から必要なものを用いて表せ。ただし，この間，ボードが再び壁に衝突することも，捨てた物体が再びボードに戻ることもないものとする。

(d)　問(2)(c)において，質量 m_1 が特定の値の場合は，捨てられた物体は，壁に沿って鉛直下向きに落下する。このときの質量 m_1 を，m，r，g，e の中から必要なものを用いて表せ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

次の文を読んで，$\boxed{}$ には適した式を，$\boxed{\boxed{}}$ には適した数値を，それぞれの解答欄に記入せよ。

図1のように，水平な地表面上に敷かれたレール上を電車が一定の速さ V で動いているとする。このレールは，点Qの手前で点Oを中心とした半径 R の円弧状であり，点Qの先では点Qで円弧に接する直線状となっている。レールの幅，電車の幅，長さ，高さはいずれも，R に比べて非常に小さいとする。以下の(1)〜(3)では電車が円弧状のレール上を動いているときについて，(4)では電車が直線状のレール上を動いているときについて，車内での小物体の運動を考える。ここで，重力加速度の大きさを g とし，小物体の大きさと小物体に対する空気の抵抗はいずれも無視する。

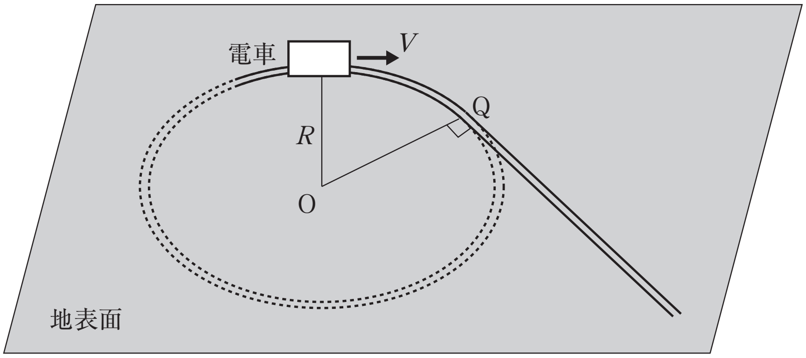


図1

(1)　電車が点Qの手前の円弧状のレール上を走っているとき，図2のように，電車の天井の点Sから，質量の無視できる長さ d の糸でつるされた質量 m の小物体は，車内の観測者から見て静止していた。なお，図2はこの電車を進行方向から見たところであり，図の左方向が中心Oの方向である。また，点Aは電車が動いていないときの小物体の静止位置である。このとき，車内の観測者には，車内の小物体に大きさ $\boxed{\text{ア}}$ の遠心力が働いているように見えるので，糸が鉛直線SAとなす角度 θ は $\tan\theta = \boxed{\text{イ}}$ を満たす。また，糸の張力 T と重力 mg との比は θ のみを用いて，$\dfrac{T}{mg} = \boxed{\text{ウ}}$ と表される。

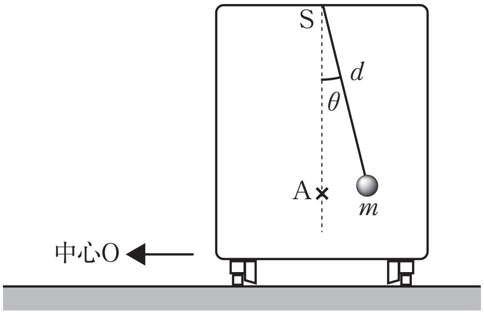


図2

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)　小物体が車内の観測者から見て動いているときでも，その速さが V に比べてじゅうぶんに小さければ，短い間に電車の加速度運動が小物体へ及ぼす影響は，大きさ［ア］の遠心力のみに表れると近似的に考えることができる。以下，この近似を使って考えることにする。この場合，車内の観測者から見て小物体には常に重力と大きさ［ア］の遠心力の合力が働くので，あたかも重力加速度の方向と大きさが変化したように見える。この見かけの重力加速度の大きさを g' とすると，g' と g の比は θ のみを用いて表すことができて，$\dfrac{g'}{g}=$［エ］となる。

(3)　小物体を点Aから，車内の観測者から見て速さ u で電車の進行方向に押し出した。この後，小物体は車内の観測者から見て円運動をした。この円運動の半径は d と θ を用いて表すと［オ］である。また，速さ u は d，g'，θ を用いて表すと $u=$［カ］であり，円運動の周期は d，g'，θ を用いて表すと［キ］となる。

(4)　この小物体が(3)のように円運動をしていて，ちょうど点Aを通過したときに，電車は図1のレール上の点Qを通過し，直線状のレールに速さ V のまま移った。この直線状のレール上を走っているとき，車内の観測者が見ると，図3のように，小物体は点Aを中心とする振動をした。この振動において，点Aからはかった小物体の最高位置の高さ h は u と g を用いて，$h=$［ク］と表される。したがって，この振動において糸が鉛直線となす最大の角度を α として，$\dfrac{g'}{g}=$［エ］と $u=$［カ］の結果を使って，$\cos\alpha$ を $\tan\theta$ のみを用いて表すと，$\cos\alpha=$［ケ］となる。ここで α も θ も小さいとして $\cos\alpha \fallingdotseq 1-\dfrac{\alpha^2}{2}$ および $\tan\theta \fallingdotseq \theta$ と近似すると，$\alpha \fallingdotseq$［コ］$\times\theta$ となる。

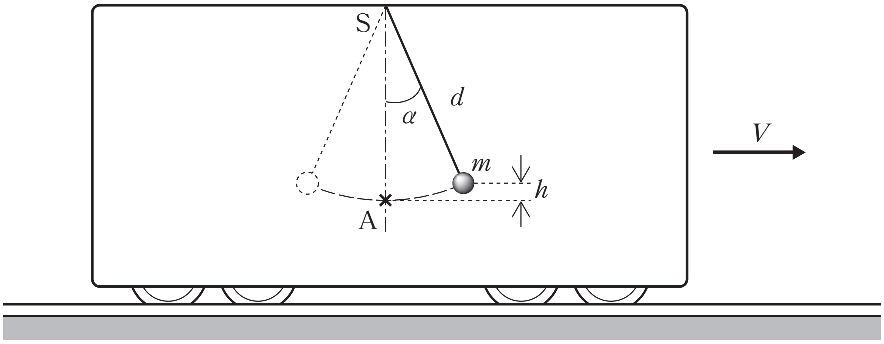


図3

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図1に示すように，質量は無視できる細いゴムひもがA点よりつるされ，下端がB点に達している。ゴムひもの下端に質量mのおもりをつけると，ゴムひもは長さδだけ伸び，下端がC点に達して静止した。次に，おもりをさらに2δだけ引き下げて，D点で静かに手放したところ，図2に示すように，おもりは最高点Eに達し，DE間で上下の振動をした。ゴムひもには，伸びている時だけフックの法則に従って張力が生じるが，縮んでいる時には，たるんで力が生じないものとする。重力加速度の大きさをgとし，以下の問に答えよ。

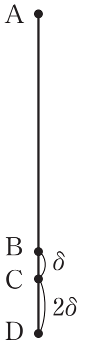


図1

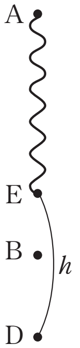


図2

⑴　おもりをD点に下げた時，ゴムひもに生じる張力を求めよ。

⑵　おもりが上下の振動をする時，はじめにB点に達するまでの時刻を求めよ。また，B点におけるおもりの速さv_Bを求めよ。ただし，はじめに点Dでおもりを手放した瞬間を$t=0$とする。

⑶　DE間の距離を求めよ。

⑷　おもりがDE間を1回往復するのにかかる時間（周期）を求めよ。ただし，小球が点Aに届くことはないものとする。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

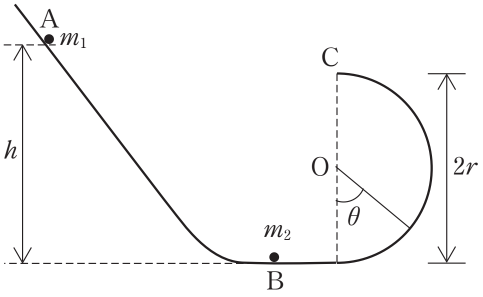
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 15 講　確認テスト

次の文中の空欄 ア ～ ク に最も適するものをそれぞれの解答群から一つ選びなさい。

図のように，質量 m_1 の小球 1 が斜面上の高さ h の点 A にあり，質量 m_2 の小球 2 が水平面上の点 B にあって静止している。さらに，その右側には，点 O を中心とする半径 r の半球面があり，その最高点 C の高さは $2r$ である。斜面，水平面，半球の内面はどれもなめらかであり，互いになめらかに接続されている。ここで，点 A から小球 1 が静かに斜面に沿ってすべり始め，水平面に到達した後の運動を考えよう。重力の加速度の大きさを g として答えよ。



小球 1 が水平面に到達したときの速さ v_1 は，$v_1 = \sqrt{2gh}$ である。その後，小球 1 は，点 B において小球 2 に衝突した。このとき，はねかえり係数を 1 とすると，衝突直後の小球 2 の速さ v_2 は，v_1 を用いて

$v_2 =$ ア

となる。

その後，小球 2 は，半球の内面をすべり上がった。ここで，図のように点 O を通る鉛直線から測った角度 θ により半球の内面上の点の位置を表す。小球 2 が角度 θ の位置にあるとき，小球 2 の速さ v_2' は $v_2' =$ イ である。このとき，小球 2 に遠心力が働くことを考慮に入れると，小球 2 が半球面から受ける垂直抗力 N は

$N =$ ウ ＋ エ

と表せる。

さらに，小球 2 が半球の内面を離れずに点 C まですべり上がるためには，点 C で小球 2 に働く垂直抗力 N が $N \geqq 0$ でなければならない。したがって，点 C での小球 2 の速さ v_{2C} は，条件 オ を満たす必要がある。一方，v_{2C} は，衝突直後の速さ v_2 を用いて $v_{2C} =$ カ と表される。これらの結果から，v_2 が条件 キ を満たすときに，小球 2 は点 C に到達できる。

以上により，小球 1 がはじめにいた点 A の高さ h に必要な条件を考えよう。小球 2 が点 C に到達できるために必要な点 A の最低の高さ h は，$h =$ ク である。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ア の解答群

① $\dfrac{m_1}{m_1+m_2}v_1$　② $\dfrac{m_1+m_2}{m_1}v_1$　③ $\dfrac{2m_1}{m_1+m_2}v_1$　④ $\dfrac{m_1+m_2}{2m_1}v_1$

⑤ $\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1$　⑥ $\dfrac{m_1+m_2}{m_1-m_2}v_1$

イ の解答群

① $\sqrt{v_2{}^2-2rg\sin\theta}$　② $\sqrt{v_2{}^2-2rg\cos\theta}$

③ $\sqrt{v_2{}^2-4rg\sin\theta}$　④ $\sqrt{v_2{}^2-4rg\cos\theta}$

⑤ $\sqrt{v_2{}^2-2rg(1-\sin\theta)}$　⑥ $\sqrt{v_2{}^2-2rg(1-\cos\theta)}$

⑦ $\sqrt{v_2{}^2-4rg(1-\sin\theta)}$　⑧ $\sqrt{v_2{}^2-4rg(1-\cos\theta)}$

ウ の解答群

① $\dfrac{m_2v_2{}'^2}{2r}$　② $-\dfrac{m_2v_2{}'^2}{2r}$　③ $\dfrac{m_2v_2{}'^2}{r}$　④ $-\dfrac{m_2v_2{}'^2}{r}$

⑤ $\dfrac{v_2{}'^2}{2r}$　⑥ $-\dfrac{v_2{}'^2}{2r}$　⑦ $\dfrac{v_2{}'^2}{r}$　⑧ $-\dfrac{v_2{}'^2}{r}$

エ の解答群

① $m_2g\sin\theta$　② $-m_2g\sin\theta$

③ $m_2g\cos\theta$　④ $-m_2g\cos\theta$

⑤ $m_2g(1-\sin\theta)$　⑥ $-m_2g(1-\sin\theta)$

⑦ $m_2g(1-\cos\theta)$　⑧ $-m_2g(1-\cos\theta)$

オ の解答群

① $v_{2C}\geqq\sqrt{m_2rg}$　② $v_{2C}\geqq\sqrt{\dfrac{1}{2}rg}$

③ $v_{2C}\geqq\sqrt{rg}$　④ $v_{2C}\leqq\sqrt{m_2rg}$

⑤ $v_{2C}\leqq\sqrt{\dfrac{1}{2}rg}$　⑥ $v_{2C}\leqq\sqrt{rg}$

⑦ $v_{2C}\geqq 0$　⑧ $v_{2C}=0$

カ の解答群

① $\sqrt{v_2{}^2+4m_2rg}$　② $\sqrt{v_2{}^2-4m_2rg}$

③ $\sqrt{v_2{}^2+2m_2rg}$　④ $\sqrt{v_2{}^2-2m_2rg}$

⑤ $\sqrt{v_2{}^2+2rg}$　⑥ $\sqrt{v_2{}^2-2rg}$

⑦ $\sqrt{v_2{}^2+4rg}$　⑧ $\sqrt{v_2{}^2-4rg}$

キ の解答群

① $v_2\geqq\sqrt{5rg}$　② $v_2\geqq 2\sqrt{rg}$　③ $v_2\geqq\sqrt{3rg}$　④ $v_2\geqq\sqrt{rg}$

⑤ $v_2\leqq\sqrt{5rg}$　⑥ $v_2\leqq 2\sqrt{rg}$　⑦ $v_2\leqq\sqrt{3rg}$　⑧ $v_2\leqq\sqrt{rg}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ク の解答群

① $\dfrac{5m_2}{2m_1}r$　　② $\dfrac{2m_2}{m_1}r$

③ $\dfrac{m_2}{m_1}r$　　④ $\dfrac{m_2}{2m_1}r$

⑤ $2\left(\dfrac{m_1+m_2}{m_1}\right)^2 r$　　⑥ $\dfrac{3}{4}\left(\dfrac{m_1+m_2}{m_1}\right)^2 r$

⑦ $\dfrac{5}{8}\left(\dfrac{m_1+m_2}{m_1}\right)^2 r$　　⑧ $\dfrac{3}{8}\left(\dfrac{m_1+m_2}{m_1}\right)^2 r$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第16講　波の基本

1

以下の［　　］にあてはまるものを各々解答群から選びなさい。

［A］ 図のように，振動数0.5Hzの正弦波が，x軸に沿って正の向きに進んでいる。図の縦軸は，今の時刻での，位置x［m］の媒質における波の変位y［m］を表す。この波の振幅は［ 1 ］m，波長は［ 2 ］m，周期は［ 3 ］s，速さは［ 4 ］m/sである。0.5s後の，図のP点における媒質の変位は［ 5 ］mになる。

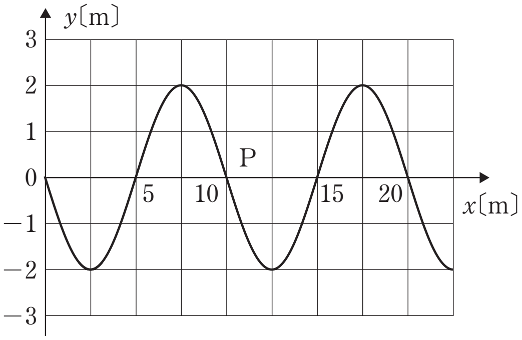
［ 1 ］の解答群
① 1.0　② 2.0　③ 3.0　④ 4.0　⑤ 5.0

［ 2 ］の解答群
① 2.0　② 4.0　③ 5.0　④ 8.0　⑤ 10.0

［ 3 ］の解答群
① 1.0　② 2.0　③ 3.0　④ 4.0　⑤ 5.0

［ 4 ］の解答群
① 5　② 10　③ 15　④ 20　⑤ 25

［ 5 ］の解答群
① 0　② 1.0　③ 2.0　④ 3.0　⑤ 4.0



©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

［B］ 図は x 軸の正の方向に伝わる正弦波を示している。実線は時刻 0 s，破線は時刻 1.5 s の波形を示している。また，この間に $x=0$ m での媒質の変位 y［m］は単調に 0 m から 0.2 m に変化するものとする。図よりこの正弦波の波長は［ 1 ］m であり，振幅は［ 2 ］m である。また周期は［ 3 ］s であり，波の速さは［ 4 ］m/s である。また時刻 2.5 s における $x=0$ m での変位は［ 5 ］m である。

［ 1 ］の解答群

① 0　② 3　③ 6　④ 9　⑤ 12

［ 2 ］の解答群

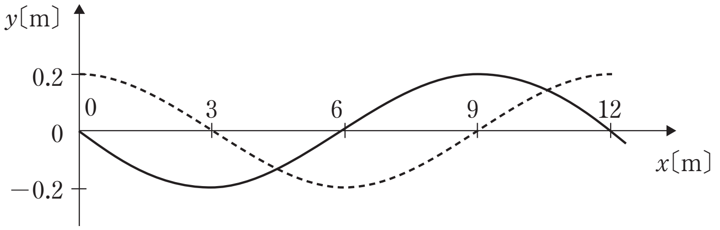
① 0　② 0.1　③ 0.2　④ 0.3　⑤ 0.4

［ 3 ］，［ 4 ］の解答群

① 0　② 2　③ 4　④ 6　⑤ 8

［ 5 ］の解答群

① 0　② 0.1　③ $0.1\times\sqrt{3}$　④ 0.2　⑤ $0.2\times\sqrt{3}$



ⒸRECRUIT HOLDINGS

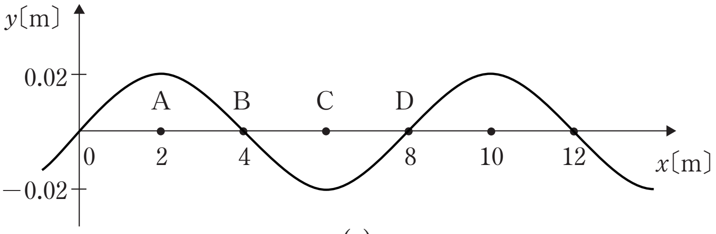
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

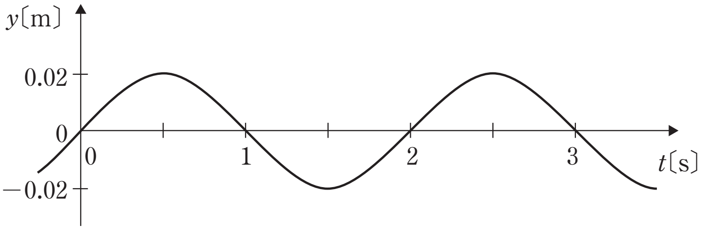
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

［C］　ある媒質中を x 軸の正の向きに進行している正弦波がある。図(a)のグラフは，時刻 $t=0$ のときの波形，すなわち，位置 x に対する媒質の変位 y の関係を表している。図(b)のグラフは，x 軸上のある位置での振動，すなわち，時刻 t に対する媒質の変位 y の関係を表している。次の問に答えなさい。



(a)



(b)

(1)　この波の振幅，波長，周期，振動数，波の速さを求めなさい。

(2)　図(a)の位置 A，B，C，D のうち，媒質が図(b)のグラフのように振動する位置はどこか。

(3)　位置 C を波の山が通過する時刻を，整数 n を用いて表しなさい。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

x 軸上を正の方向に一定の速さで伝わっている正弦波について考える。以下の空欄に入る値を求めなさい。

原点 $x=0$ の位置で変位 y の時間 t による変化を観測したら，図1のようになった。これから，この波動の振幅は [①] cm，周期は [②] s であり，周波数は [③] Hz であることがわかる。また時刻 $t=0$ の瞬間に変位 y の位置 x による変化を観測したら，図2のようになった。これから，この波動の波長が [④] m であり，波の速さが [⑤] m/s であることがわかる。

この波動は，y が x 軸の正の方向の媒質の変位を表す疎密波である。時刻 $t=0$ のとき，媒質の密度が最小になっている位置の中で，$x>0$ で一番原点に近いのは $x=$ [⑥] m であり，媒質の振動の速度が0になっている位置の中で，$x>0$ で一番原点に近いのは $x=$ [⑦] m，振動の速度が負の向きに最大になっている位置の中で，$x>0$ で一番原点に近いのは $x=$ [⑧] m である。

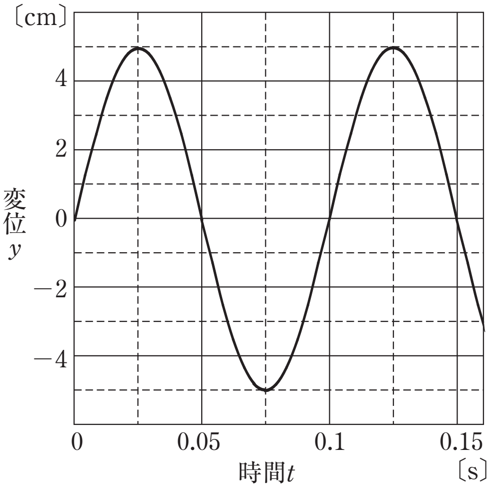


図1　変位の時間による変化（x=0）

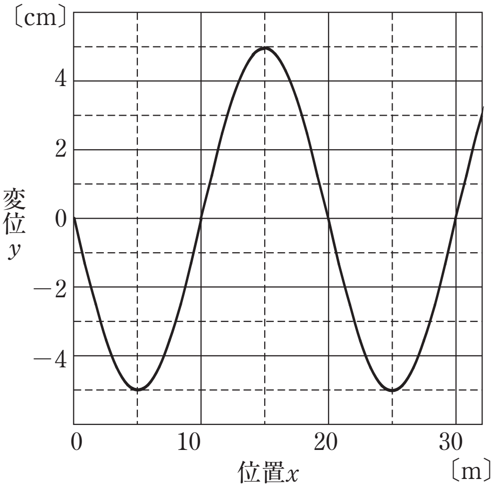


図2　変位の位置による変化（t=0）

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

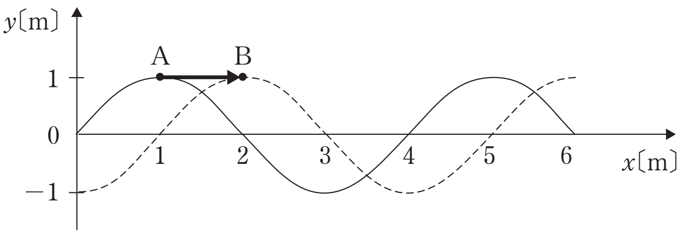
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第16講　確認テスト

$x=0$ m の位置から連続的に発生し，x 軸の正方向へ進む縦波がある。図は，この縦波を横波として表したもので，媒質の変位を縦軸（y 軸）にとっている。実線は時刻 $t=0$ s のときの波形で，この波の山の点 A が，$t=0.2$ s のとき点 B まで進み，はじめて点線の波形になった。この縦波について，以下の設問に答えなさい。（設問(5)以外すべて縦波に戻して答えること。）



図

(1)　この波の波長はいくらか。［ 1 ］［m］

［ 1 の解答群］

a　1	b　2	c　3	d　4
e　5	f　6	g　7	h　8
i　9			

(2)　この波の振幅はいくらか。［ 2 ］［m］

［ 2 の解答群］

a　1	b　2	c　3	d　4
e　5	f　6	g　7	h　8
i　9			

(3)　この波の進む速さはいくらか。［ 3 ］［m/s］

［ 3 の解答群］

a　1	b　2	c　3	d　4
e　5	f　6	g　7	h　8
i　9			

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

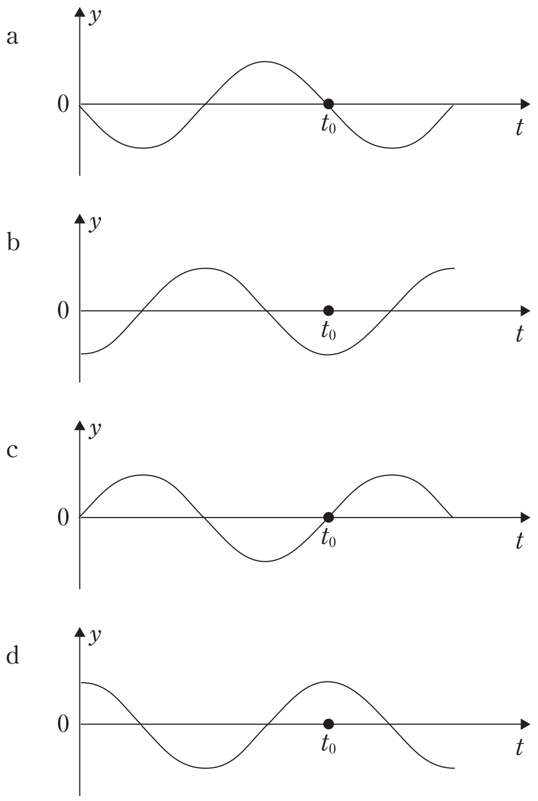
(4)　この波の振動数はいくらか。[4] [Hz]

[[4]の解答群]

a	0.25	b	0.33	c	0.50	d	0.75
e	1.00	f	1.25	g	1.33	h	1.50
i	1.75						

(5)　$x = 2$ m の点での媒質の変位 y [m] と時刻 t [s] との関係を表すグラフ（y–t グラフ）はどれか。ただし，グラフは縦波を横波として表している。[5]

[[5]の解答群]



また，この y–t グラフにおける t_0 の値はいくらか。[6] [s]

[[6]の解答群]

a	0.25	b	0.50	c	0.75	d	0.80
e	1.00	f	1.25	g	1.75	h	2.00
i	4.00						

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(6) 時刻 $t = 0$ s のとき，次にあてはまる媒質の点は図の中の $x = 0.5,\ 1.0,\ 1.5,\ 2.0,\ 2.5,\ 3.0,\ 3.5,\ 4.0$ m の８箇所のうちいずれか。

（ｉ） 媒質の振動速度が 0 m/s の点 [7]

[[7]の解答群]

a　$x = 0.5$ と 1.5m の２点　　b　$x = 0.5$ と 2.5m の２点
c　$x = 0.5$ と 3.5m の２点　　d　$x = 1.0$ と 3.0m の２点
e　$x = 1.5$ と 2.5m の２点　　f　$x = 1.5$ と 3.5m の２点
g　$x = 2.0$ と 4.0m の２点　　h　$x = 2.0$m の点
i　$x = 4.0$m の点

（ii） 左向き（x 軸の負の方向）の振動の速さが最大の点 [8]

[[8]の解答群]

a　$x = 0.5$m の点　b　$x = 1.0$m の点　c　$x = 1.5$m の点　d　$x = 2.0$m の点
e　$x = 2.5$m の点　f　$x = 3.0$m の点　g　$x = 3.5$m の点　h　$x = 4.0$m の点
i　$x = 2.0$m と 4.0m の２点

（iii） 媒質が最も密な点 [9]

[[9]の解答群]

a　$x = 0.5$m の点　b　$x = 1.0$m の点　c　$x = 1.5$m の点　d　$x = 2.0$m の点
e　$x = 2.5$m の点　f　$x = 3.0$m の点　g　$x = 3.5$m の点　h　$x = 4.0$m の点
i　$x = 2.0$m と 4.0m の２点

（iv） 媒質が最も疎（そ）な点 [10]

[[10]の解答群]

a　$x = 0.5$m の点　b　$x = 1.0$m の点　c　$x = 1.5$m の点　d　$x = 2.0$m の点
e　$x = 2.5$m の点　f　$x = 3.0$m の点　g　$x = 3.5$m の点　h　$x = 4.0$m の点
i　$x = 2.0$m と 4.0m の２点

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

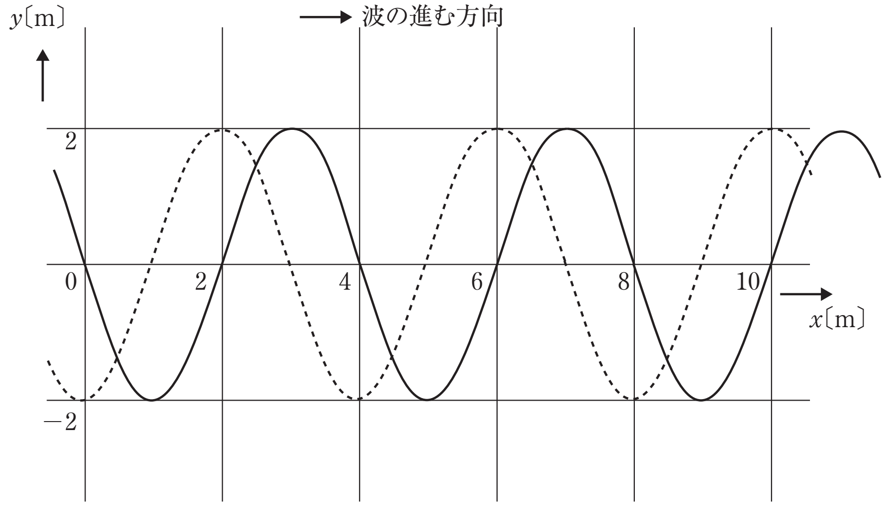
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第17講　重ね合わせと定常波，反射

1

次の文を読み，問に答えなさい。

次図の実線波形は，ある媒質中を x 軸に沿って矢印の向きに進む正弦波の $t=0$ での様子を示したものである。実線波形が最初に点線波形のようになるのに 1.5 s かかった。



問1　この波の振幅，波長，周期，振動数，波の伝わる速さは，それぞれいくらか。

問2　$x=2$ m の位置における媒質の変位の時間的変化を，0 ～ 5 s までについてグラフにかきなさい。

次に，$x=10$ m の位置に反射面を設置する。前図で示した波が反射面で固定端反射し，入射波と振幅の等しい反射波が生じ，x の負の向き（左向き）に進むものとする。入射波と反射波とが重なり合うことにより，定常波が生ずる。時刻 t は，位置 0 ～ 10 m の範囲において波動が定常状態に達した瞬間を $t=0$ とするものとする。

問3　周期を T とすると，時刻 $t=\dfrac{T}{4}$，$\dfrac{T}{2}$ での合成波を，$x=0$ ～ 10 m の範囲でグラフにかきなさい。

問4　このとき，時刻に関係なく振動しない点の位置を，$x=0$ ～ 10 m の範囲で求めなさい。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

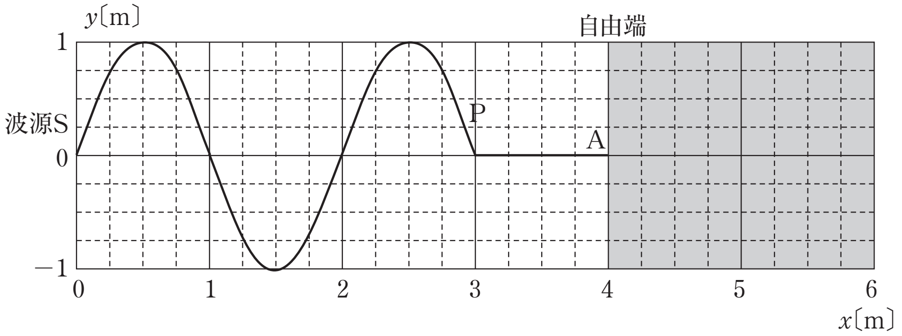
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

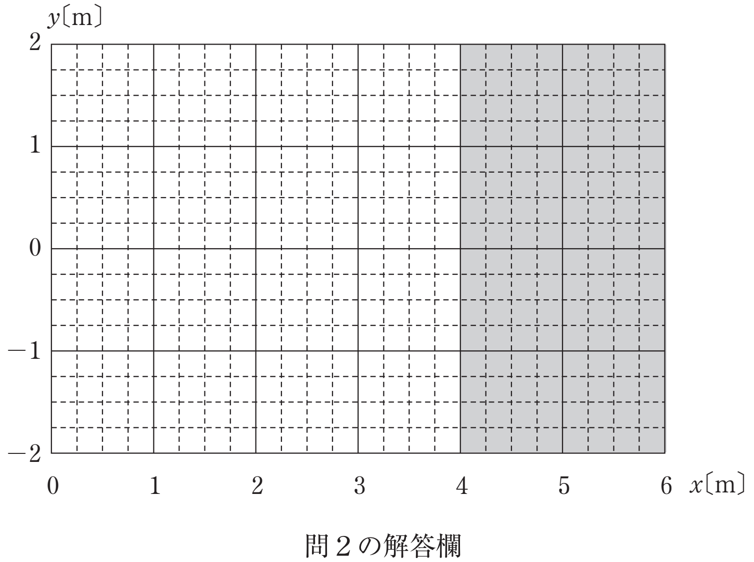
2

［A］ 図の $x=0$ の位置に波源Sがあり，$x=4.00$ m にある点Aは自由端である。波源Sは振幅 1.00 m，周期 0.400 s で振動し波を送り出す。図の波形は，波源Sの振動により送り出された波の先端が，点Pに達した時刻のものである。この時刻を $t=0$ [s] として，次の問に答えよ。



問１　この波の波長 λ [m] と速さ v [m/s] を求めよ。

問２　0.450 秒後に観察される波形を，太い実線で描け。ただし，解答を得るために描いた線は，細い線で残してもよい。



問２の解答欄

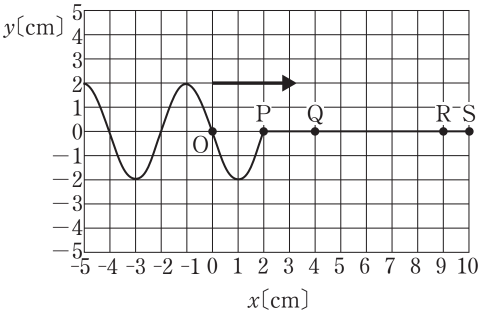
ⓒRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

©RECRUIT HOLDINGS

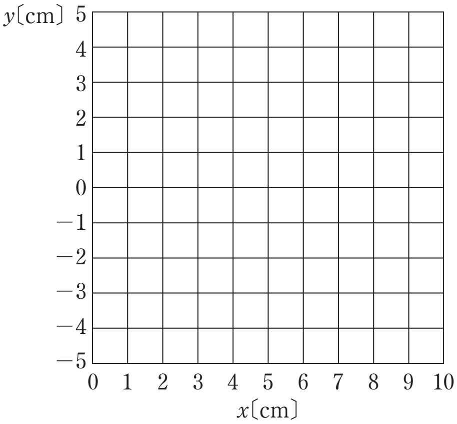
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

［B］ x 軸の負の方向に無限遠まで伸びている正弦波が，x 軸方向に進んでいる。振動の方向を y 軸とする。図は，時刻 $t=0$ [s] での波の形を示しており，図中の O，P，Q，R，S は x 軸上の位置を表している。また，位置 S は固定端となっている。時刻 $t=0$ [s] では，この正弦波は x 軸の正の方向に進んでおり，波の先端は位置 P にある。時刻 $t=2$ [s] のとき，波の先端は位置 Q に達した。以下の問に答えよ。

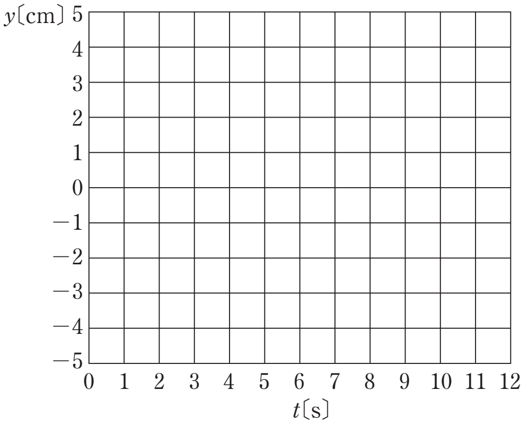


(1)　この正弦波の振幅，波長，周期，波の速さを求めよ。

(2)　時刻 $t=9$ [s] における波の形を 0 [cm] $\leqq x \leqq 10$ [cm] の範囲で図示せよ。



(3)　位置 R における変位 y [cm] を時刻 t [s] の関数として図示せよ。ただし，0 [s] $\leqq t \leqq 12$ [s] とする。



©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

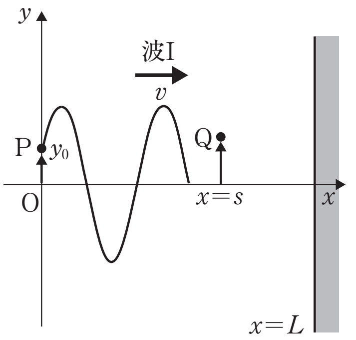
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図のように，媒質が x 軸に沿って置かれており，原点Oに波源がある。$x=0$ での媒質の位置をP，$x=s$ における媒質の位置をQとする。波源による時刻 t におけるPの変位は $y_0=A\sin(2\pi ft)$ と表され，この振幅 A，振動数 f の単振動は速さ v の正弦波Ⅰとして x 軸の正の向きに伝わっていく。$x=L$ の位置に x 軸に垂直な壁があり，波はこの壁で自由端反射をする。波は減衰することなく伝わり，反射によって減衰することはないものとする。なお $\sin\alpha+\sin\beta=2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}$ を用いてよい。



(1)　正弦波Ⅰの波長 λ を v と f で表せ。

(2)　①波源を出た波Ⅰが，座標 $x=s$ $(0\leqq s\leqq L)$ に到達するのに必要な時間 t_1 はいくらか。②波Ⅰによる時刻 t におけるQの変位 y_{I} は，時間 t_1 だけ前の時刻 $(t-t_1)$ におけるPの変位に等しいことを用いて，y_{I} を A，f，t，t_1 で表せ。

(3)　①波源を出た波が，壁で反射されて再び座標 $x=s$ に到達するのに必要な時間 t_2 はいくらか。②この反射された波Ⅱによる，時刻 t におけるQの変位 y_{II} を A，f，t，t_2 を用いて表せ。

(4)　座標 $x=s$ に波Ⅱが到達した後は，Qの変位 y は波Ⅰによる変位 y_{I} と波Ⅱによる変位 y_{II} の和となる。この y を s の関数と t の関数の積の形で表せ。

(5)　s が0と L の間で，波Ⅰと波Ⅱとが重ね合わされた波の，①腹になる点での振幅を求めよ。また，②隣り合う腹と腹の間隔を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

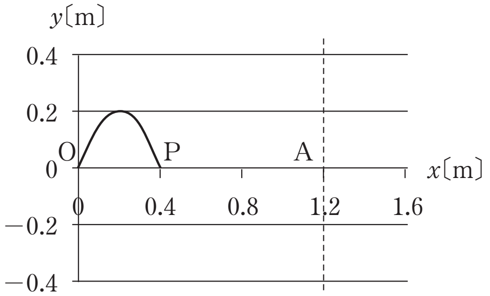
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第17講　確認テスト

次の各設問の［　　］に該当する答の番号を解答群から選びなさい。

図の点Oの波源から振幅0.20m，周期0.40sの正弦波を送り出した。Pはその現在の先端である。波は点Aで自由端反射する。



図

問1　この正弦波の波長は［ 1 ］mである。

解答群

① 0.4　② 0.8　③ 1.0　④ 1.2
⑤ 1.4　⑥ 1.6

問2　この正弦波の振動数は［ 2 ］Hzである。

解答群

① 2.5　② 3.0　③ 5.0　④ 6.5
⑤ 8.0　⑥ 12.0

問3　この正弦波の速さは［ 3 ］m/sである。

解答群

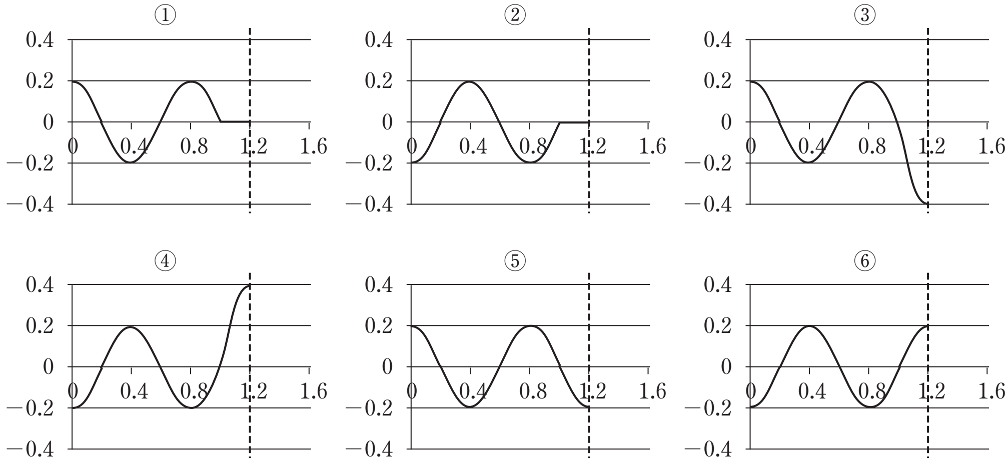
① 1.0　② 1.5　③ 2.0　④ 3.0
⑤ 4.0　⑥ 5.0

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

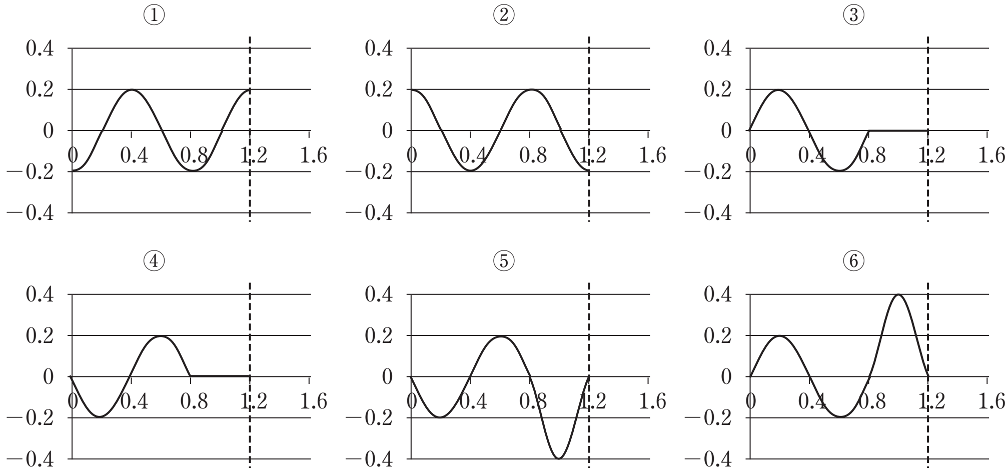
問４　正弦波の先端がＰに達してから 0.50 秒後の自由端反射による入射波と反射波の合成波は［ 4 ］である。

［ 4 ］の解答群



問５　正弦波の先端がＰに達してから 0.60 秒後の自由端反射による入射波と反射波の合成波は［ 5 ］である。

［ 5 ］の解答群



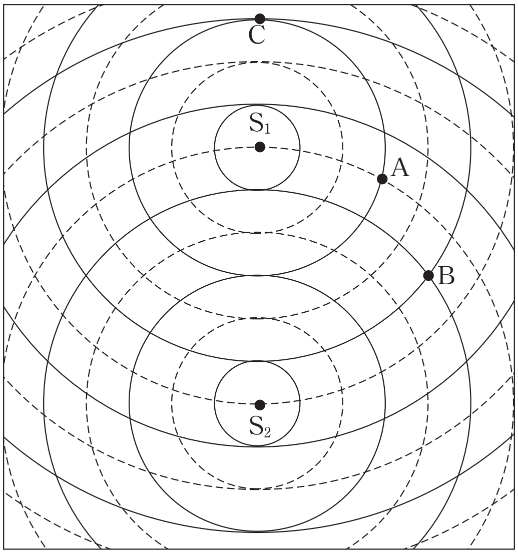
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第18講　波の干渉

1

小球 S_1，S_2 を水面に置き，それらを上下に同じ振幅，同じ位相で振動させる。図は，それぞれの波源から広がる周期4秒の円形波の，時刻0の山の波面(実線)と谷の波面(破線)を表したものである。S_1 と S_2 の間の距離は 12 cm である。次の文中の［　　］内に入れるのに適当なものを解答群の中からひとつ選び，その番号を記入せよ。



⑴　図のA点の時刻3秒での変位は山，0，谷のうち，［ ⑴ ］である。
⑵　図のB点の時刻3秒での変位は山，0，谷のうち，［ ⑵ ］である。
⑶　波の波長は［ ⑶ ］cm である。
⑷　S_1 と S_2 の間では，波は［ ⑷ ］。
⑸　図のC点と S_1 の間では，波は［ ⑸ ］。
⑹　2つの波が常に弱めあう点を結んだ線(節線)の形は，［ ⑹ ］になる。
⑺　節線は合計［ ⑺ ］本できている。
⑻　S_1 点に最も近い節線上の点をPとすると，$\overline{S_2P}-\overline{S_1P}$ は［ ⑻ ］cm である。
⑼　S_1 と S_2 の間の距離を 10 cm にすると，節線は合計［ ⑼ ］本できる。
⑽　問⑼のとき，C点と S_1 の間では，波は［ ⑽ ］。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

解答群

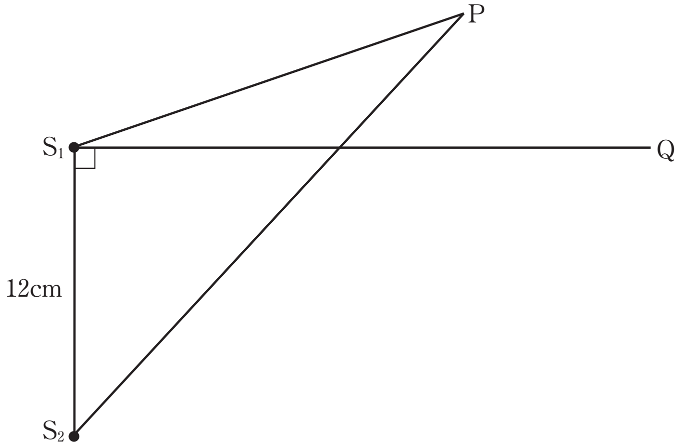
〔11〕　山	〔12〕　谷	〔13〕　0
〔14〕　1	〔15〕　2	〔16〕　3
〔17〕　4	〔18〕　5	〔19〕　6
〔20〕　7	〔21〕　8	〔22〕　9
〔23〕　10	〔24〕　11	〔25〕　進行波になる
〔26〕　定常波になる	〔27〕　できない	〔28〕　放物線
〔29〕　双曲線	〔30〕　円	

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

以下の文の(　　　)内には数値を，〔　　　〕内には数式を，｛　　　｝内には語句を記入して文章を完成せよ。



水面上で12cm離れた波源S_1，S_2が振動数15Hzの同位相で振動し，波長6.0cmの水面波を発生させている。この波の速さは(　(1)　)[cm/s]である。

波源S_1，S_2からの波を，ある観測点Pで観測すると，強め合ったり弱め合ったりする。この現象を｛　(2)　｝という。波が観測点Pで弱めあう条件は，$m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots$とすると，$\left|\overline{PS_1}-\overline{PS_2}\right|=$〔　(3)　〕と書ける。

観測点PがS_1，S_2を結ぶ線分上にあるとき，波源S_1に最も近い弱め合う場所は，$\overline{PS_2}-\overline{PS_1}=$(　(4)　)[cm]を満たす場所Pなので，波源$S_1$から(　(5)　)[cm]離れたところである。波が弱めあう場所は，線分S_1S_2上に(　(6)　)箇所ある。

観測点Pが線分S_1S_2と垂直な半直線S_1Q上にあるとき，波源S_1に最も近い弱めあう場所はS_1から(　(7)　)[cm]離れたところである。波が弱めあう場所は，半直線S_1Q上に(　(8)　)箇所ある。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

次の文章を読み，設問に答えなさい。

水深が一定で十分に広い水面上に，図１に示すように x 軸と y 軸を設け，波長 λ［m］，振幅 a［m］，周期 T［s］の平面波が y 軸と θ の角度をなして進行しているようすを［観察１］と［観察２］の条件のもとで観察する。ここでは，平面波の振幅は波長に比べて十分小さく，その波形は正弦波で表すことができるものとする。

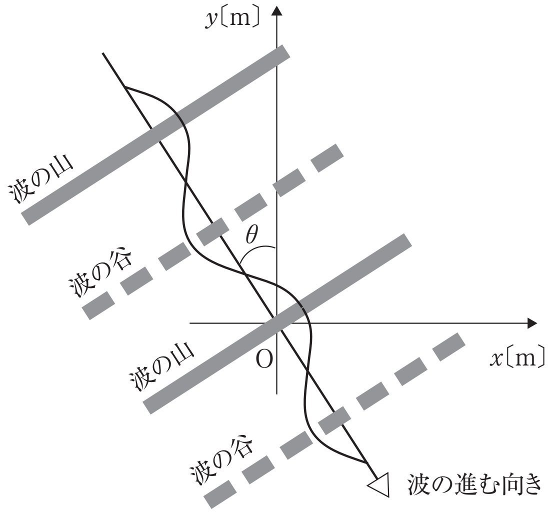


図１

［観察１］

図１に示すように，波の進行を妨げる障害物がない水面上を，矢印の向きに平面波が進行している。図には，進行する平面波の山を連ねた線と谷を連ねた線を太い実線と破線でそれぞれ示している。

問１　［観察１］の条件のもとで，平面波が進行するようすを観察した。次の文章中の空欄（　ア　）～（　オ　）に適切な式または記号を答えよ。

図１の矢印の向きに平面波が進行しているとき，波が進行するようすを x 軸と y 軸のそれぞれの方向について観察してみる。いま，平面波の山の一つが原点Oを通過する瞬間の水面のようすについて考える。このとき，x 軸上では（　ア　）［m］の間隔で波の山を観察することができる。また，y 軸上では（　イ　）［m］の間隔で波の山を観察することができる。

平面波が図の矢印の向きに進む速さは（　ウ　）［m/s］で表される。この平面波の x 軸に沿って測った波の波長は（　ア　）［m］であることから，平面波が x 軸の正の向きに進む速さは（　エ　）［m/s］で表される。同様に，y 軸に沿って測った波の波長は（　イ　）［m］であることから，この平面波が y 軸の負の向きに進む速さは（　オ　）［m/s］で表される。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

［観察２］

図２に示すように，y 軸に垂直な壁面を x 軸に沿って設け，入射してきた波をこの壁面で反射させた。波は壁面で完全に反射し，反射する波（反射波）の振幅は入射する波（入射波）の振幅と等しかった。図には，入射波と反射波の伝わる向きを実線と破線の矢印でそれぞれ示している。また，入射波の山を連ねた線と谷を連ねた線を太い実線と破線でそれぞれ示している。

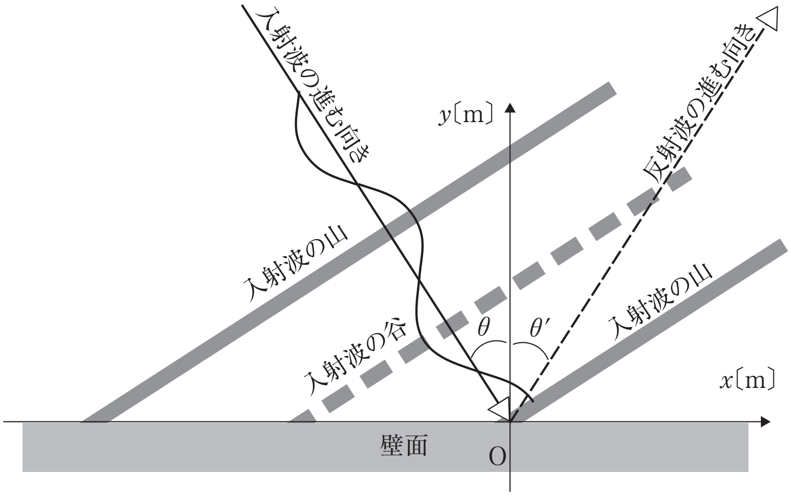


図２

問２　［観察２］の条件のもとで，入射波と反射波が干渉するようすを観察した。次の文章中の空欄（　カ　）～（　サ　）に適切な式，記号または数値を答えよ。

y 軸と θ の角度をなして入射してきた平面波は，x 軸に沿って設けた壁面で反射して y 軸に対して角度 θ' の方向に進行している。このとき，θ と θ' の間には（　カ　）の関係式が成り立つ。

x 軸に沿って設けた壁面での波の反射によって，$y \geqq 0$ の領域では入射波と反射波の干渉が生じ，波が強めあう所と弱めあう所を観察することができる。いま，入射波の山の一つが原点Ｏを通過する瞬間において，入射波と反射波の干渉のようすを y 軸に沿って観察してみる。x 軸に沿って設けた壁面は自由端であることから，原点Ｏは入射波の山と反射波の山が重なって波が強めあう所となり，そこでの変位は振動の中心から（　キ　）[m] となる。このように，入射波の山と反射波の山が重なりあう所は y 軸上に（　ク　）[m] の間隔で観察することができる。また，入射波の谷と反射波の谷が重なる所でも波が強めあうようすが観察できる。以上のように y 軸上では定常波ができ，この定常波の腹は y 軸上に（　ケ　）[m] の間隔で観察することができる。また，y 軸上には定常波の節も観察され，そこでの変位は振動の中心から（　コ　）[m] となる。y 軸上で観察される節のうち，壁面に最も近い節は原点Ｏから（　サ　）[m] の位置に観察される。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 18 講　確認テスト

水面上の２点 S_1，S_2 に小球を置いて振動させた。図１は，それぞれの波源 S_1，S_2 から広がる円形波の，ある瞬間の山の波面（実線）と谷の波面（破線）を示している。小球間の距離は 8.0cm，水面波の伝わる速さは 16cm/s であるとする。以下の各問に対応する解答群の中からもっとも適する答を１つ選びなさい。

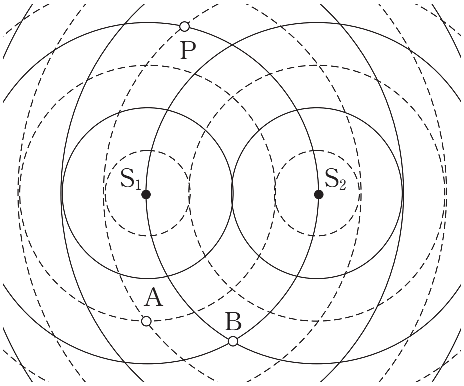


図１

問１．点 A，点 B の水面の様子を観察するとどのように見えるか。 1

問２．波源 S_1 から広がる水面波の波長は何 cm か。 2

問３．距離 S_1P と距離 S_2P の差は何 cm か。 3

問４．波が打ち消しあう場所はどこか。図２の太い実線 a から g のうち，ふさわしいものをすべて選べ。 4

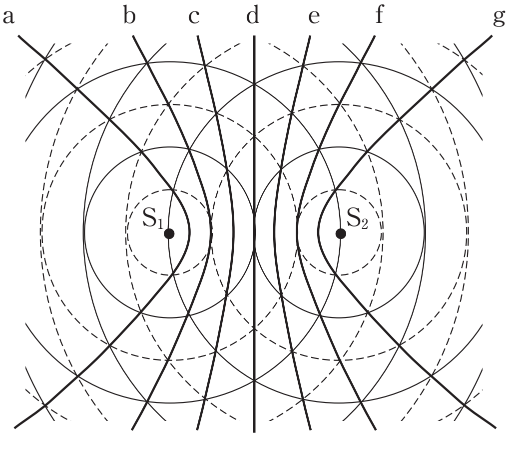


図２

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

1 の解答群

(ア)　A：大きく振動する，　B：大きく振動する
(イ)　A：ほとんど振動しない，　B：大きく振動する
(ウ)　A：大きく振動する，　B：ほとんど振動しない
(エ)　A：ほとんど振動しない，　B：ほとんど振動しない

2 ，3 の解答群

(ア)　2.0　(イ)　3.0　(ウ)　4.0　(エ)　6.0
(オ)　8.0　(カ)　10　(キ)　12　(ク)　16

4 の解答群

(ア)　d　(イ)　c，d，e
(ウ)　b，d，f　(エ)　a，d，g
(オ)　b，c，e，f　(カ)　a，c，e，g
(キ)　a，b，c，e，f，g　(ク)　a，b，c，d，e，f，g

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第19講　弦と気柱の振動

1

次の文中の ア ～ キ に最も適するものをそれぞれの解答群から一つ選び， ク に適するものをその解答群から2つ選んで，所定の欄にその番号をマークせよ。また， b に適する式を書きなさい。

図1のように，水平な台の上に一様な弦の一端を固定し，他端に質量Mのおもりをつるして，滑車にかけた。そして，弦の下にコマを置き，コマから距離Lだけ離れた位置に振動子を置いた。振動子は，弦に振動を与えることができる。

振動子の振動数を上げていくと，振動数f_1のときに，コマと振動子の位置に節を持つ基本振動が生じた。さらに振動数を上げると，振動数f_2のときに2倍振動が，f_3のときに3倍振動が生じた。振動数がf_3のとき，腹の数は ア であり，弦を伝わる波の波長は イ である。n倍振動の振動数f_nは，波の速さvと弦の長さLを使って

$$f_n = \boxed{\text{b}} \quad (n = 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$$

と表される。波の速さvと基本振動数f_1のあいだには

$$v = \boxed{\text{ウ}}\, f_1$$

という関係がある。

次に，おもりの質量を変えて基本振動数を測定し，おもりの質量と基本振動数の関係を調べた。横軸におもりの質量を，縦軸に基本振動数の2乗をとってグラフにすると，図2のような直線が得られた。この結果によると，おもりの質量を3倍にすると，基本振動数は エ 倍になる。図2の直線の傾きをαとすると，おもりの質量がMのときの波の速さvは オ である。

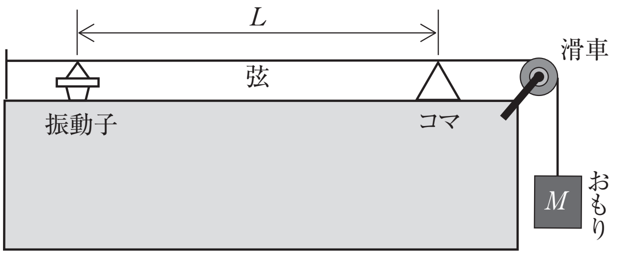


図1

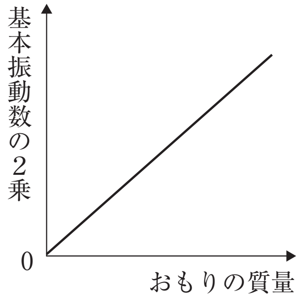


図2

図1で，振動数f_3で3倍振動が生じているときに，振動数をf_3に固定したまま，コマの位置を振動子に近づけて，2倍振動が起こる位置を探すと，ちょうど最初の位置から カ だけコマを移動したところで2倍振動が起こった。ここで，f_3より少しだけ振動数の低い音叉(おんさ)を弦に近づけると，単位時間あたりk回のうなりが聞こえた。音叉の振動数は キ である。音叉と同じ振動数で2倍振動を起こさせるためには， ク 。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ア の解答群

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5

イ, ウ, カ の解答群

① $\frac{L}{4}$　② $\frac{L}{3}$　③ $\frac{L}{2}$　④ L

⑤ $\frac{2L}{5}$　⑥ $\frac{2L}{3}$　⑦ $2L$　⑧ $3L$

エ の解答群

① $\frac{\sqrt{3}}{2}$　② $\frac{2}{\sqrt{3}}$　③ $\sqrt{3}$　④ 2

⑤ 3　⑥ $2\sqrt{3}$　⑦ 6　⑧ 9

オ の解答群

① $\frac{LM}{\alpha}$　② $\frac{2LM}{\alpha}$　③ $L\sqrt{\frac{M}{\alpha}}$　④ $2L\sqrt{\frac{M}{\alpha}}$

⑤ $L\alpha M$　⑥ $2L\alpha M$　⑦ $L\sqrt{\alpha M}$　⑧ $2L\sqrt{\alpha M}$

キ の解答群

① $f_3-\frac{1}{2}k$　② f_3-k　③ f_3-2k　④ $f_3+\frac{1}{2}k$

⑤ f_3+k　⑥ f_3+2k

ク の解答群（2個選択）

① おもりの質量を変えずに，コマを滑車の方へ動かせばよい

② おもりの質量を変えずに，コマを振動子の方へ動かせばよい

③ コマの位置を変えずに，おもりの質量を増やせばよい

④ コマの位置を変えずに，おもりの質量を減らせばよい

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

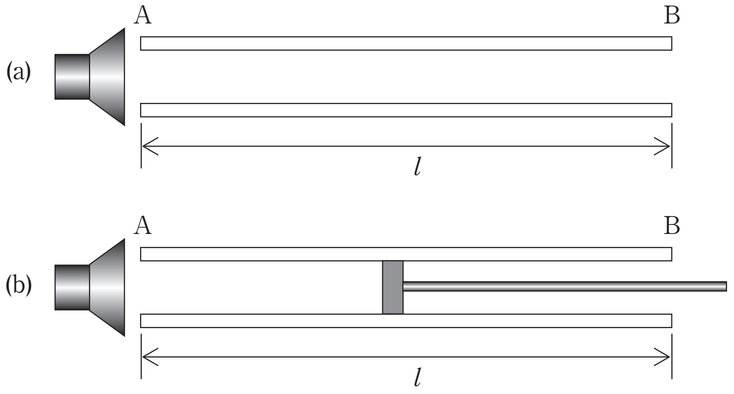
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，細長い管の管口に置いたスピーカーから音を出して共鳴させる。以下の文中の〔　　〕内には適切な数式を記入し，｛　　｝内からは正しいものを示す記号を選んで文章を完成せよ。ただし，開口端の補正はないものとする。



図

細長い管の中には，空気の密度が時間や場所とともに周期的に変化する ｛(1)　ア．縦波　イ．横波｝ の定常波ができ，｛(2)　ア．開端が節，閉端が腹　イ．開端が腹，閉端が節｝ となる。このとき，空気の密度の変化が最も激しい場所は ｛(3)　ア．腹　イ．節｝ である。

管の中にできる定常波の振動数と，スピーカーからの音の振動数が一致すると共鳴が起こる。

図(a)に示すような長さ l [m] の開管 AB の管口に置いたスピーカーの出す音の振動数をゆっくり上げていったところ，振動数 f [Hz] で最初の共鳴が起こった。このとき，音波の波長は〔 (4) 〕[m]，音速は〔 (5) 〕[m/s] である。さらに振動数を上げていったところ，2 回目の共鳴が起こった。このとき，音波の波長は〔 (6) 〕[m]，振動数は〔 (7) 〕[Hz] である。

スピーカーの出す音の振動数を〔 (7) 〕に固定して，図(b)のようにピストンをはめこみ，管口 A からゆっくりと右に移動させると，管口 A から〔 (8) 〕[m] のところで最初の共鳴が起こる。さらにピストンを右に移動させると，2 回目の共鳴が管口 A から〔 (9) 〕[m] のところで起こる。

ピストンの位置を〔 (9) 〕に固定し，スピーカーの出す音の振動数をさらに上げると，次に共鳴が起こるときの振動数は〔 (10) 〕[Hz] である。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

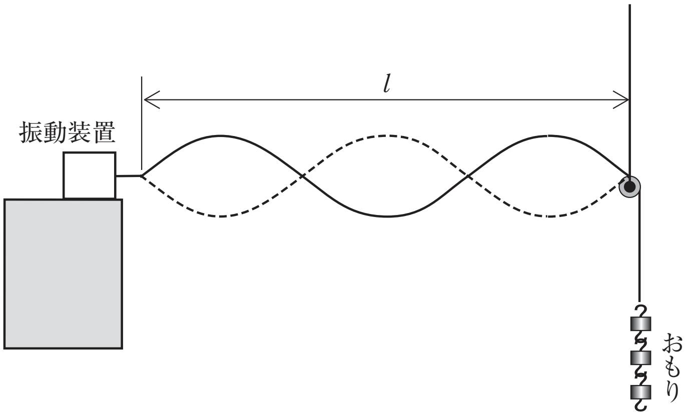
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第19講　確認テスト

［A］ 次の文章を読み，下の問1～4に答えなさい。

線密度ρの弦の一端を振動装置に固定し，他端には滑車を介して質量の合計がmのおもりをつるす。弦の振動部分は水平に張ってあり，その長さはlである。はじめ，振動装置の振動数をfとしたところ，弦には図のように腹が3個の定常波が生じた。重力加速度の大きさをgとする。なお，弦の線密度とは，弦の単位長さあたりの質量のことである。



問1　図の状態で，弦を伝わる波の速さVはいくらか。正しいものを，次の①～⑥から一つ選びなさい。$V=$ 1

① $\frac{1}{3}fl$　② $\frac{1}{2}fl$　③ $\frac{2}{3}fl$　④ fl　⑤ $\frac{4}{3}fl$　⑥ $\frac{3}{2}fl$

問2　弦を伝わる波の速さVは，弦の張力をTとすると，線密度ρを用いて$V=\sqrt{\frac{T}{\rho}}$で与えられる。いま，振動装置の振動数はfのままで，腹が6個の定常波が生じるようにするには，おもりの質量の合計をmの何倍にすればよいか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。 2 倍

① $\frac{1}{4}$　② $\frac{1}{3}$　③ $\frac{1}{2}$　④ $\frac{2}{3}$　⑤ 1　⑥ 2

⑦ 3　⑧ 4

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問３　腹が６個の定常波が生じた問２の状態から，振動装置の振動数を f より徐々に小さくしていったところ，定常波ができなくなったがしばらくするとまた定常波が生じるということが繰り返された。振動装置の振動数をほぼ０まで小さくするとき，はじめの状態を除いて，何回定常波が生じるか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。

［ 3 ］回

①　1　　②　2　　③　3　　④　4　　⑤　5　　⑥　6
⑦　7　　⑧　8

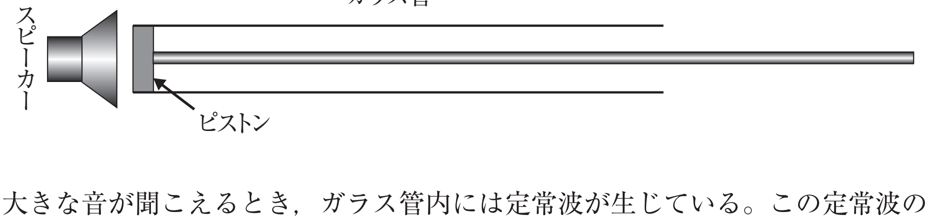
問４　再び，装置全体を振動数が f で腹が３個の定常波が生じていたはじめの状態に戻し，この状態から振動装置の振動数を Δf だけ増加させたところ，腹が４個の定常波が生じた。Δf はいくらか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。$\Delta f=$ ［ 4 ］

①　$\dfrac{f}{8}$　　②　$\dfrac{f}{4}$　　③　$\dfrac{f}{3}$　　④　$\dfrac{f}{2}$　　⑤　$\dfrac{2}{3}f$　　⑥　$\dfrac{3}{4}f$

⑦　f　　⑧　$\dfrac{2}{3}f$

［B］　次の文章を読み，下の問１～４に答えなさい。

図のように，内径が一様なガラス管にピストンを差し込み，左側の管口まで入れて，その管口付近でスピーカーを鳴らした。ピストンをゆっくり引き抜いていったところ，ピストンがガラス管の右端に達するまでに３回大きな音が聞こえた。このとき，１回目に大きな音が聞こえた位置と２回目に大きな音が聞こえた位置の間隔，２回目に大きな音が聞こえた位置と３回目に大きな音が聞こえた位置の間隔は共に a であった。さらに，ピストンをガラス管から抜き去ったところ，大きな音が聞こえた。音速を V とし，開口端補正は考えないものとする。



問１　大きな音が聞こえるとき，ガラス管内には定常波が生じている。この定常波の波長はいくらか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。［ 5 ］

①　$\dfrac{a}{4}$　　②　$\dfrac{a}{3}$　　③　$\dfrac{a}{2}$　　④　$\dfrac{2a}{3}$

⑤　a　　⑥　$\dfrac{3a}{2}$　　⑦　$2a$　　⑧　$3a$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問2　スピーカーから出ている音の振動数 f はいくらか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。$f =$ [6]

① $\dfrac{V}{4a}$　② $\dfrac{V}{3a}$　③ $\dfrac{V}{2a}$　④ $\dfrac{V}{a}$

⑤ $\dfrac{a}{4V}$　⑥ $\dfrac{a}{3V}$　⑦ $\dfrac{a}{2V}$　⑧ $\dfrac{a}{V}$

問3　ガラス管の長さはいくらか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。[7]

① a　② $\dfrac{3a}{2}$　③ $2a$　④ $\dfrac{5a}{2}$

⑤ $3a$　⑥ $\dfrac{7a}{2}$　⑦ $4a$　⑧ $\dfrac{9a}{2}$

問4　ピストンをガラス管から抜き去った後，スピーカーから出す音の振動数を少しずつ小さくしていった。このとき，次に大きな音が聞こえるときの音の振動数は問2の振動数 f の何倍か。正しいものを，次の①～⑤から一つ選びなさい。[8]倍

① $\dfrac{1}{4}$　② $\dfrac{1}{3}$　③ $\dfrac{1}{2}$　④ $\dfrac{2}{3}$

⑤ $\dfrac{3}{4}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第20講　ドップラー効果

1

一定の振動数 f_0 の音を出している音源がある。観測者，音源，反射板がこの順に一直線上に並んでいる。いま，観測者と音源は静止し，反射板は面を進行方向に垂直に保ちながら一定の速さ v で音源に向かって動いている。このとき観測者は，音源からの直接音と反射板からの反射音とによって生じるうなりを聞く。このうなりの回数が風によってどのように影響されるかを考える。

無風状態での音の速さを V として，反射板の速さ v と風の速さ w は V に比べて十分に小さいとする。次の文中の［　　］に適切な数式を書き入れよ。

(1) 観測者が聞く直接音の振動数を f_d，反射音の振動数を f_r とすると，単位時間に観測者が聞くうなりの回数 f は $f=$ ［(ア)］である。

(2) まず，風がない場合（$w=0$）を考える。反射板が受けとる音の振動数 f_1 は，v，V，f_0 を用いて $f_1=$ ［(イ)］と表される。観測者に届く反射音の振動数 f_r を v，V，f_1 を使って表すと $f_r=$ ［(ウ)］となる。したがって f_r は，v，V，f_0 を用いて $f_r=$ ［(エ)］と表される。いっぽう，観測者に届く直接音の振動数 f_d は $f_d=$ ［(オ)］である。これらのことから，単位時間に観測者が聞くうなりの回数 f は v，V，f_0 を用いて $f=$ ［(カ)］と求まる。

(3) 次に，速さ w の一様な風が観測者から反射板に向かって吹いている場合を考える。音は，風の吹く向きには［(キ)］の速さで，風とは逆の向きには［(ク)］の速さで伝わる。このことを考慮すると，反射板が受けとる音の振動数 f_1' は，v，w，V，f_0 を用いて $f_1'=$ ［(ケ)］と表される。また，観測者の受けとる反射音の振動数 f_r' は，v，w，V，f_1' を使って表すと $f_r'=$ ［(コ)］である。したがって f_r' は，v，w，V，f_0 を用いて $f_r'=$ ［(サ)］と表される。いっぽう直接音は，振動数 $f_d'=$ ［(シ)］の波として観測者に届く。以上のことから，単位時間に観測者が聞くうなりの回数 f' は，v，w，V，f_0 を用いて $f'=$ ［(ス)］と表される。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

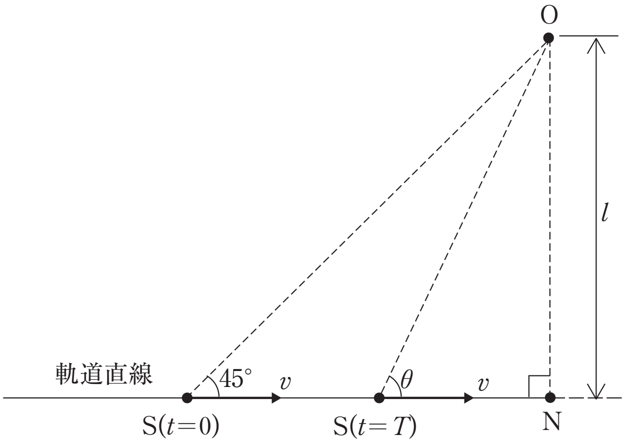
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，振動数f [Hz] をもつ点音源が音速c [m/s] よりも遅い速度v [m/s] で等速直線運動しながら，点Oに静止している観測者に近づいている。音源の位置Sの軌道である直線（軌道直線）と点Oとの距離ONはl [m] である。また，はじめの時刻$t = 0$で点OとSを結ぶ直線OSと軌道直線とのなす角度は45°であった。以下の問に答えなさい。



問1　T [s] 後（時刻$t = T$）に軌道直線とOSとのなす角度をθとする。$\tan\theta$をc，f，l，Tおよびvのうち必要なものを用いて表しなさい。

問2　時刻$t = T$で放射された音が点Oで観測される振動数をc，vおよびθを用いて表しなさい。

問3　点Nに達した瞬間に放射された音が点Oで観測される波長をc，f，lおよびvのうち必要なものを用いて表しなさい。

問4　$c = 330$ [m/s] とする。$\theta = 60°$のときに放射された音を点Oで観測したら振動数がfの1.5倍であった。このことから音源の速度vの大きさを求めなさい。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

次の文を読み，文中の ア ～ サ にあてはまる数式を入れよ。

図１のように，振動数 f [Hz] の音源が速さ u [m/s] で，静止している観測者に向かって進んでいる。音速は V [m/s] とする。時刻 $t = 0$ [s] で，音源は点 P，観測者は点 Q にあり，その間の距離は l [m] であった。この場合，観測者が聞く音の振動数がどうなるかを，以下のように考えてみよう。

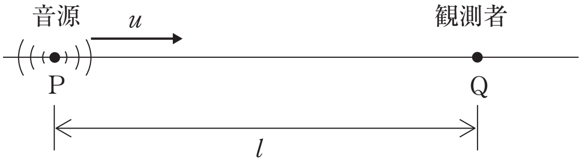


図１

(1) 時刻 $t = 0$ で点 P にある音源から出た音は，時刻 $t_1 =$ ア [s] のとき観測者に届く。時刻 $t = 0$ から短い時間 Δt 秒後，音源は点 P から イ [m] 離れた点に移動する。このとき，音源と点 Q との距離は ウ [m] となるので，Δt 秒後に音源から出た音が観測者に届いたときの時刻は，$t_2 =$ エ [s] となる。時間 Δt 秒の間に，音源から $f\Delta t$ 個の波が出るが，観測者は $t_2 - t_1$ の間にこれを聞くことになる。したがって，観測者が聞く振動数は オ [Hz] となる。逆に，音源が速さ u で，観測者から遠ざかる場合，観測者が聞く振動数は， カ [Hz] となる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

次に，図2のように，音源が進む方向の直線上とは異なる位置に，観測者が静止している場合を考えてみよう。音速は V とし，振動数 f の音源が u の速さで移動している。

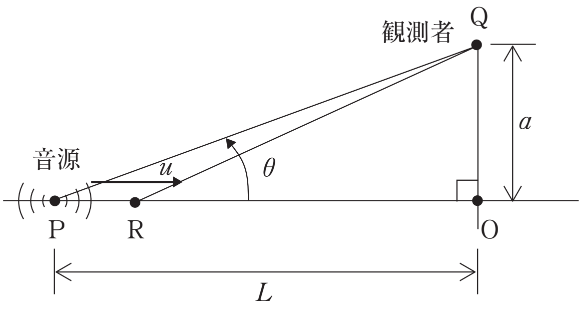


図2

(2)　時刻 $t=0$ で，音源は点Pにあり，観測者は点Qにあった。ここで，点Qから音源の進む方向の直線に下ろした垂線と音源の進む方向の直線との交点をOとする。このとき，PO間の距離は L [m]，QO間の距離は a [m] である。また，$\theta=\angle \mathrm{OPQ}$ とする。点Pから点Qまでの距離は，［キ］[m] である。したがって，時刻 $t=0$ に，点Pから出た音が点Qに伝わるのは，時刻 $t_3=$［ク］[s] である。次に，短い時間 Δt 秒の間に，音源が u の速さで点Pから点Rの位置に進んだとする。このとき，点Qから点Rまでの距離を θ を用いて表すと［ケ］[m] となる。ただし，$(\Delta t)^2$ は無視できるとし，$\sqrt{1+x} \fallingdotseq 1+\dfrac{1}{2}x$ $(|x| \ll 1)$ という近似式を用いることとする。点Rから出た音が点Qに伝わるのは，時刻 $t_4=$［コ］[s] である。Δt 秒の間に，音源からは $f\Delta t$ 個の波が出るが，観測者は，これを t_4-t_3 の間に聞くことになる。したがって，観測者が聞く振動数 $f'=$［サ］[Hz] となる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

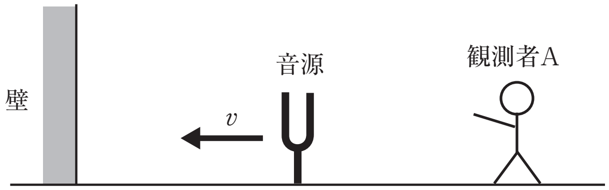
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第20講　確認テスト

以下の［1］〜［8］にあてはまる答えを各解答群から1つ選び，マークせよ。ただし，同じ答えをくり返し用いてもよい。

図(a)のように，振動数f_0 [Hz] の音源を，壁に向かって速さv [m/s] で近づけ，音源の後方で静止している観測者Aが音を聞く。ただし音源は常に壁と観測者Aを結ぶ一直線上にあり，音源の速度は壁に直交しているものとする。また，空気に対する音源の速さv [m/s] は音速V [m/s] より小さいものとして，以下の問に答えよ。



図(a)

(1)　観測者Aが音源から直接聞く音の振動数は［1］$\times f_0$ [Hz] であり，その波長は［2］[m] である。また，壁から反射される音の振動数は，仮に観測者が壁のところに立っていたとしたときに聞く振動数に等しい。したがって，反射音の振動数は［3］$\times f_0$ [Hz]，反射音の波長は［4］[m] である。また，直接音と反射音によってうなりが生じた場合，観測者Aが聞くうなりの1秒あたりの回数は［5］$\times f_0$ である。

次に，同じ音源を速さv [m/s] で壁から遠ざけた場合，観測者Aが聞くうなりの1秒あたりの回数は［6］$\times f_0$ である。

［1］，［3］の解答群

① $\dfrac{V+v}{V}$　② $\dfrac{V}{V+v}$　③ $\dfrac{V-v}{V}$　④ $\dfrac{V}{V-v}$

⑤ $\dfrac{V+v}{v}$　⑥ $\dfrac{v}{V+v}$　⑦ $\dfrac{V-v}{v}$　⑧ $\dfrac{v}{V-v}$

［2］，［4］の解答群

① $\dfrac{V+v}{f_0}$　② $\dfrac{f_0}{V+v}$　③ $\dfrac{V-v}{f_0}$　④ $\dfrac{f_0}{V-v}$

⑤ $\dfrac{f_0}{V}$　⑥ $\dfrac{f_0}{v}$　⑦ $\dfrac{V}{f_0}$　⑧ $\dfrac{v}{f_0}$

［5］，［6］の解答群

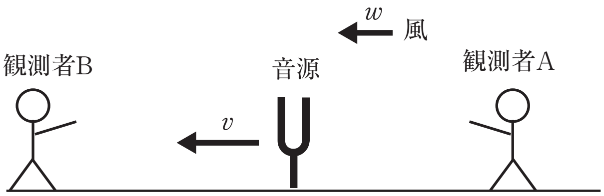
① $\dfrac{vV}{V^2-v^2}$　② $\dfrac{2vV}{V^2-v^2}$　③ $\dfrac{4vV}{V^2-v^2}$　④ $\dfrac{vV}{V^2+v^2}$

⑤ $\dfrac{2vV}{V^2+v^2}$　⑥ $\dfrac{4vV}{V^2+v^2}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)　図(b)のように，静止している観測者Aから静止している観測者Bに向かって，水平面に平行に速さ w [m/s] の風が一様に吹いている場合を考える。いま，AとBを結ぶ一直線上において，振動数 f_0 [Hz] の音源を速さ v [m/s] でAからBの方向に近づけたとする。ただし，$w < v < V$ とする。このとき，観測者Aが聞く音の振動数は［ 7 ］$\times f_0$ [Hz] であり，観測者Bが聞く音の振動数は［ 8 ］$\times f_0$ [Hz] である。



図(b)

［ 7 ］，［ 8 ］の解答群

① $\dfrac{V+w}{V+w+v}$　② $\dfrac{V+w}{V+w-v}$　③ $\dfrac{V+w}{V-w+v}$　④ $\dfrac{V-w}{V+w+v}$

⑤ $\dfrac{V-w}{V+w-v}$　⑥ $\dfrac{V-w}{V-w+v}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第21講　光と屈折

1

図1のように，水深 h のところに光源Sがある。Sから出て点Pに入射した光の一部は，屈折して空気中へ進み観測者の目に入る。点Pにおける入射角を θ_1，屈折角を θ_2，空気に対する水の屈折率を n として，以下の問に答えよ。

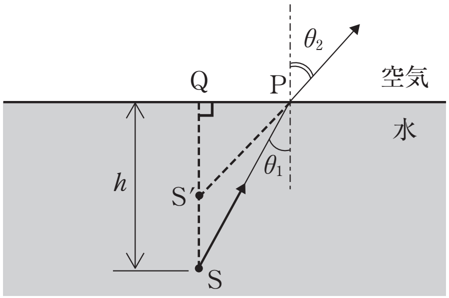


図1

(1)　$\sin\theta_2$ を n と θ_1 で表せ。

(2)　光源Sのほぼ真上にいる観測者から見ると，光源Sは図中のS′にあるように浮き上がって見える。Sを通る鉛直線が水面と交わる点をQとし，見かけの深さQS′を n, h で表せ。ただし，角 θ が小さいとき，$\sin\theta \fallingdotseq \theta \fallingdotseq \tan\theta$ の関係が成り立つことを用いよ。

光を通さない，ある大きさ以上の薄い円板を水面に浮かべることで，空気中のどこからも光源Sが見えないようにできる。

(3)　次の文は光源Sを見えなくするのに必要な円板の半径の最小値について書かれたものである。文中の［　　］に入れるのに最も適切な語句，数式を書きなさい。

屈折率の大きい媒質中を進んだ光が屈折率の小さい媒質へ入射する場合，入射角がある角度 θ_C より大きくなると，入射光はすべて境界面で反射する。この角 θ_C は，屈折角が90°になる入射角のことであり，［ア］という。また，入射角が θ_C 以上になると光はすべて反射されることから，この現象は［イ］と呼ばれる。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

図2のように，半径 r の円板をその中心が点Qと一致するように水面に置き，その円板のふちの一点をRとする。光源SからRへの入射角が［ア］θ_C であったとすると，屈折の法則より $\sin\theta_C$ は n を用いて，

$$\sin\theta_C = \boxed{\text{ウ}} \quad \cdots\cdots①$$

と表すことができる。一方，三角比より，

$$\sin\theta_C = \frac{RQ}{SR} \quad \cdots\cdots②$$

であり，直角三角形SRQにおいて，線分SRの長さは三平方の定理より h，r を用いて表すと SR = ［エ］となる。よって，式①および②より，円板の半径 r の最小値は $r =$ ［オ］と求められる。

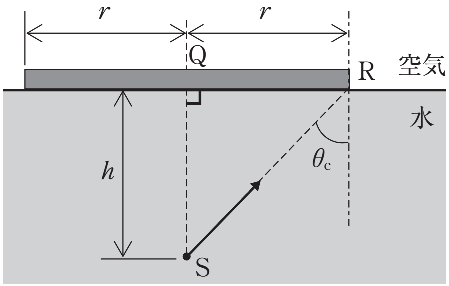


図2

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

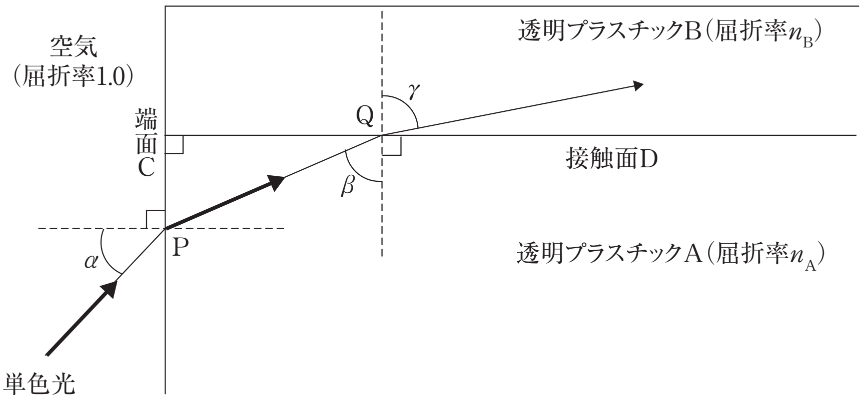
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

次の文中の空欄①～⑧を数式や用語で埋め，解答欄に記入しなさい。ただし，①には（　　）内の(ア)～(ウ)のうち正しいものを1つ選び記入し，⑧には（　　）内の(ア)，(イ)のうち正しいものを1つ選び，記入しなさい。

光ファイバーのしくみを理解するため，図に示すように，屈折率 n_A の透明プラスチックAの上に屈折率 n_B の透明プラスチックBを重ねたものを空気中におき，その中を進む単色光のようすを調べる。ただし，それぞれの屈折率は，$n_A > n_B > 1.0$ を満たすものとし，プラスチックAの端面Cは，プラスチックAとプラスチックBとの接触面Dに対し，垂直であるものとする。



（i）　単色光を端面C上の点Pに入射させると，入射した光の一部は屈折率の異なる媒質の接触面で反射したが，残りの光は媒質中を図に示したように進んだ。このように，光が屈折率の異なる媒質を進むとき，進行方向などは屈折率に応じて変化するが，光の（① (ア)　速度，(イ)　波長，(ウ)　振動数）は，屈折率が変わっても変化しないことは良く知られている。

　さて，単色光がプラスチックAからプラスチックBに入射する点Qでの屈折に注目すると，n_A，n_B と図に示す角 β，γ との関係は $\sin\beta$ =（　②　）と書くことができる。次に点Pでの屈折に注目する。空気の屈折率を1.0とすれば，n_A と図に示す角 α，β との関係は $\sin\alpha$ =（　③　）と書くことができる。ここで，端面Cと2つのプラスチックの接触面Dが垂直であることを用いている。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

（ⅱ）　光の屈折において，媒質の屈折率と入射角がある条件を満たすと，屈折角が 90° になることがある。このときの入射角は（　④　）と呼ばれている。そして入射角が（　④　）以上になると，光は図のように進まず，すべて反射する。この現象は全反射と呼ばれている。接触面 D において全反射する条件を求めてみよう。

$\sin\beta$ ＝（　②　）から，屈折角が90°になる条件を n_{A}，n_{B} と図に示す角 β を用いてあらわすと $\sin\beta$ ＝（　⑤　）となる。そして，$\sin\alpha$ ＝（　③　）と $\sin\beta$ ＝（　⑤　）から，接触面 D における屈折角が 90° になるときの角 α と n_{A}，n_{B} の関係は $\sin\alpha$ ＝（　⑥　）となる。この条件から全反射が生じるときの α の範囲が求められるが，もしも n_{A}，n_{B} が（　⑦　）のような不等式を満たすならば，α が $0° < \alpha < 90°$ を満足するどのような角であっても，接触面 D で必ず全反射が生じることがわかる。これらの結果は，光ファイバーを設計するときの基礎になる。また，屈折率などが変化したときのようすを調べるときにも役に立つ。たとえば，プラスチック B の屈折率 n_{B} を小さくし，1.0 に近づけたときには，接触面 D での全反射は（⑧　(ア)　おこりやすくなる，(イ)　おこりにくくなる）ことが，これまでの結果からわかる。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

雨上がりに太陽と反対の方向に見える虹はとても綺麗な現象である。図1に示すように，良い条件の場合には，通常見える虹（主虹）の外側にもう一つ薄い虹（副虹）が見える。虹は，空気中の水滴がプリズムの役目を果たし，白色の太陽光を色（波長）ごとに分けた結果見える現象と考える。水滴は球であるとして，以下の各問に答えなさい。

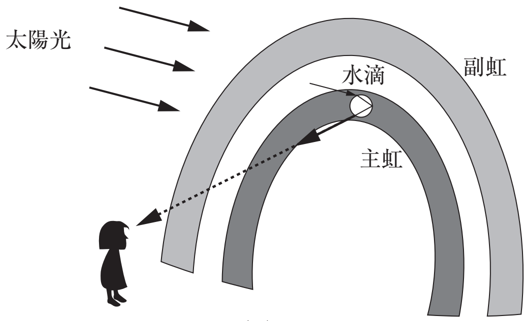


図1

(1)　光は屈折率の異なる境界面に入射すると屈折する。図2に示すように，水滴表面の点Aに入射した光線は屈折し，点Bで反射し，点Cで屈折して大気中に出ていく。点Oは水滴の中心，点Aにおける水滴への入射角をθ_1，屈折角をθ_2，水滴の屈折率をnとして，これらの間に成立する関係式を求めなさい。

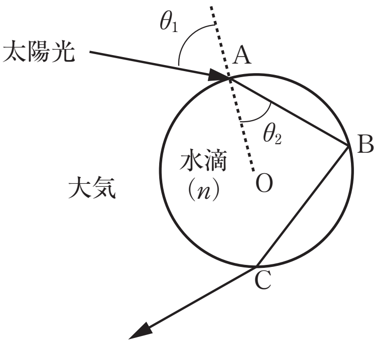


図2

(2)　表は水における光の波長に対する屈折率を示している。空気の屈折率を1とし，水の屈折率は表の値を参考にして，θ_2が最も大きくなる光線の色を赤，黄，緑，紫の中から一つ選んで答えなさい。

表　水の屈折率

波長(nm)	屈折率	光線の色
656	1.331	赤
589	1.333	黄
546	1.335	緑
405	1.343	紫

(3)　図3に示すように，点Bにおける入射角をθ_3，反射角をθ_4，点Cにおける入射角をθ_5，屈折角をθ_6とする。θ_3およびθ_4の間に成立する関係から，θ_5およびθ_6を，θ_1およびθ_2を用いて表しなさい。

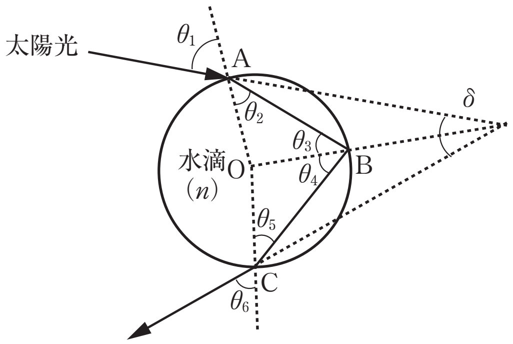


図3

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

⑷　虹の各色の見える角度は，水滴に入射する太陽光線と水滴から出てくる光線がなす角 δ によって変化する。δ を θ_1 および θ_2 を用いて表しなさい。

⑸　大気中では水滴が無数に存在する。主虹において，地平線から最も上側（外側）に見える色を表から一つ選んで答えなさい。

⑹　図４に示すように，副虹の場合は，点Ｄで屈折し，点Ｅで反射し，さらに点Ｆで反射し，点Ｇで屈折して大気中に出ていくと考える。赤色および緑色の光線の軌跡の関係を表した図として最も適切なものを解答群の中から１つ選びア～オの記号で答えなさい。ただし，解答群の図中，破線は水滴に入った後の赤色の光線の軌跡，点線は緑色の光線の軌跡を表しているとし，実際に水の屈折率を考慮して得られる図よりお互いの関係がわかりやすいように強調して描いている。

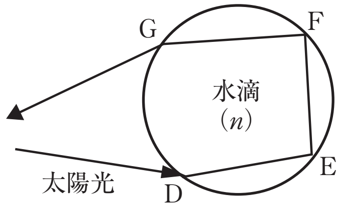
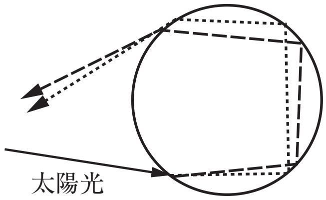
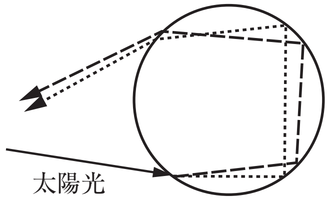


図４

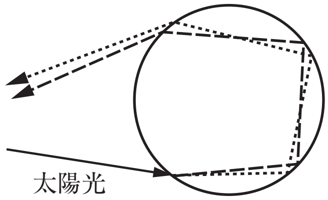
〔解答群〕



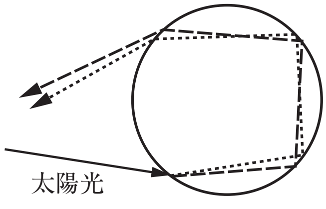
ア.



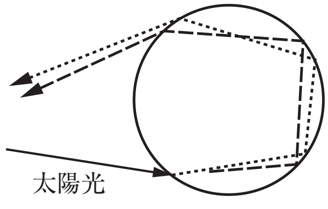
イ.



ウ.



エ.



オ.

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第21講　確認テスト

問1

池に潜り，深さ h の位置から水面を見上げ，水の外を見ていた。図1のように，光を通さない円板が水面に置かれたので，外が全く見えなくなった。そのとき円板の中心は，潜っている人の目の鉛直上方にあった。このように外が見えなくなる円板の半径の最小値 R を与える式として正しいものを，以下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，空気に対する水の屈折率（相対屈折率）を n とし，水面は波立っていないものとする。また，円板の厚さと目の大きさは無視してよい。

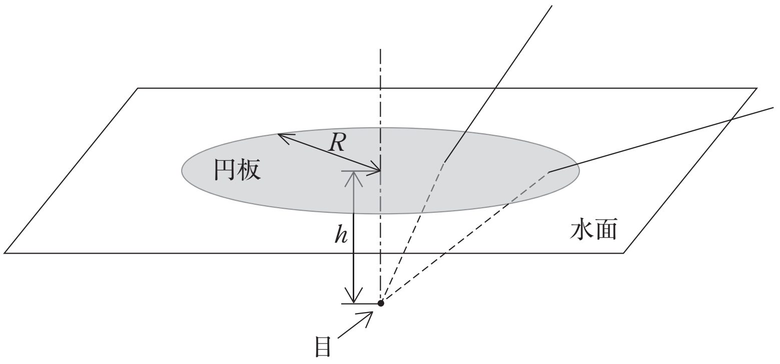


図1

① $\dfrac{h}{\sqrt{1-\dfrac{1}{n}}}$　② $\dfrac{h}{n-1}$　③ $\dfrac{h}{\sqrt{n-1}}$　④ $\dfrac{h}{\sqrt{1-\dfrac{1}{n^2}}}$

⑤ $\dfrac{h}{n^2-1}$　⑥ $\dfrac{h}{\sqrt{n^2-1}}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問2

図2は，ある光ファイバーの概念図である。屈折率の異なる2種類の透明な媒質からなる二重構造をしており，媒質1でできた中心部分の円柱の屈折率 n_1 は，媒質2でできた周囲の円筒の屈折率 n_2 よりも大きい。このファイバーを空気中におき，円柱の端面の中心Oから単色光の光線を入射角 i で入射させる。端面で光は屈折してファイバー中を進み，媒質1と媒質2の境界面で反射される。この境界面への入射角を r とする。

以下では，図のように円柱の中心軸を含む平面内を進む光についてのみ考える。また空気の屈折率は1とする。

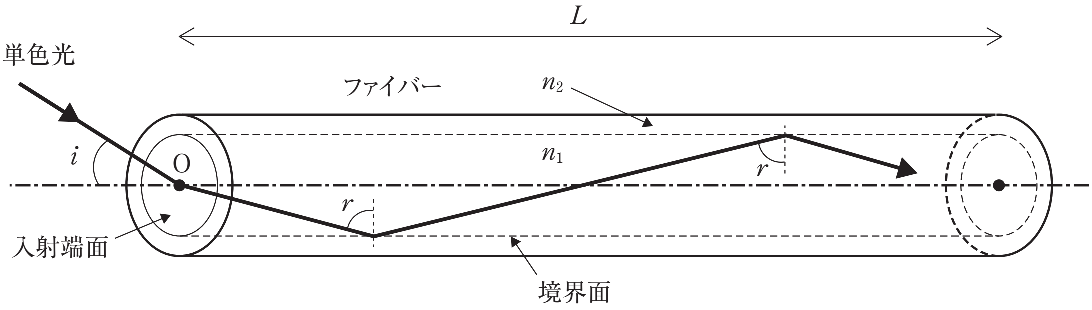


図2

(1)　端面への入射角 i を小さくしていくと，境界面への入射角 r は大きくなる。r がある角度 r_0 より大きくなると，境界面で全反射が起こり，光は媒質1の円柱の中だけを通って，円柱の外に失われることなく反対側の端面にまで到達する。

$r > r_0$ のとき，光が円柱に入射してから，反対側の端面に到達するまでにかかる時間はいくらか。空気中での光速を c，ファイバーの長さを L として正しいものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ。

① $\dfrac{L}{c}$　② $\dfrac{L}{c\sin r}$　③ $\dfrac{L}{c\cos r}$　④ $\dfrac{n_1L}{c}$

⑤ $\dfrac{n_1L}{c\sin r}$　⑥ $\dfrac{n_1L}{c\cos r}$　⑦ $\dfrac{n_1L}{n_2c}$　⑧ $\dfrac{n_1L}{n_2c\sin r}$

⑨ $\dfrac{n_1L}{n_2c\cos r}$

(2)　媒質1と媒質2の境界面で全反射が起こる場合の，端面への入射角 i の最大値を i_0 とするとき，$\sin i_0$ を n_1，n_2 で表す式として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

① n_1-n_2　② $n_1^2-n_2^2$　③ $\sqrt{n_1-n_2}$　④ $\sqrt{n_1^2-n_2^2}$

⑤ $\dfrac{1}{n_2}-\dfrac{1}{n_1}$　⑥ $\dfrac{1}{n_2^2}-\dfrac{1}{n_1^2}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第22講　レンズ

1

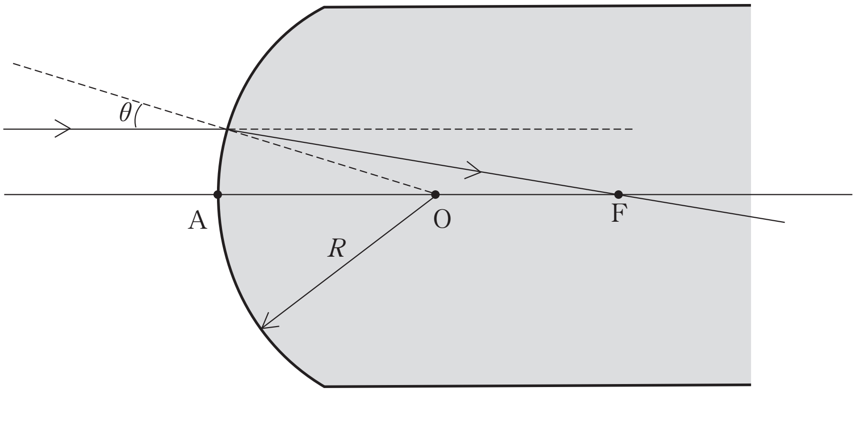
[　　]にあてはまる最も適当なものを以下の対応する解答群の中から一つずつ選べ。

(1) 焦点距離が5.0cmの凸レンズの前方4.0cmの位置に物体を置くと，レンズの[ア]方[イ]cmの位置に物体の像ができる。この像の種類は[ウ]である。また像の倍率は[エ]である。

(2) 焦点距離が5.0cmの凹レンズの前方9.0cmの位置に物体を置くと，レンズの[オ]方[カ]cmの位置に物体の像ができる。この像の種類は[キ]である。また像の倍率は[ク]である。

(3) 遠視や近視の矯正にはめがねが用いられる。本を読むとき，本を目から70cm以上遠ざけないと活字を明瞭に読むことができない人がいる。この人が本を目から20cmの位置においても，活字を明瞭に読むことができるようにするには，焦点距離[ケ]cm程度の[コ]レンズのめがねをかければよい。ただし，めがねのレンズと目の間の距離は無視できるとする。

(4) 図のような形状の，空気に対する相対屈折率がnのガラスがある。このガラスの左端は半径R[m]の球面になっている。光が球面の中心Aと球の中心Oを通る直線（光軸）に平行に入射する。このとき，Aの付近に入射した光は1点Fに集まり，点Aと点Fの距離は[サ]で与えられる。ただし，入射角θ[rad]は十分小さく，近似式$\sin\theta \fallingdotseq \theta$，$\cos\theta \fallingdotseq 1$，$\tan\theta \fallingdotseq \theta$が成り立つとする。



図

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

[ア], [ウ], [オ], [キ], [コ]の解答群

① 前　② 後　③ 正立の実像　④ 倒立の実像
⑤ 正立の虚像　⑥ 倒立の虚像　⑦ 凹　⑧ 凸

[イ], [エ]の解答群

① 0.20　② 0.56　③ 2.2　④ 5.0
⑤ 7.5　⑥ 10　⑦ 15　⑧ 18
⑨ 20

[カ], [ク]の解答群

① 0.36　② 0.50　③ 1.3　④ 2.8
⑤ 3.2　⑥ 11　⑦ 15　⑧ 20
⑨ 22

[ケ]の解答群

① 10　② 16　③ 18　④ 28
⑤ 48　⑥ 50

[サ]の解答群

① nR　② $(n-1)R$　③ $\frac{1}{n}R$　④ $\frac{1}{n-1}R$
⑤ $\frac{n}{n-1}R$　⑥ $\frac{n-1}{n}R$　⑦ $\frac{n}{n-2}R$　⑧ $\frac{n-2}{n}R$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

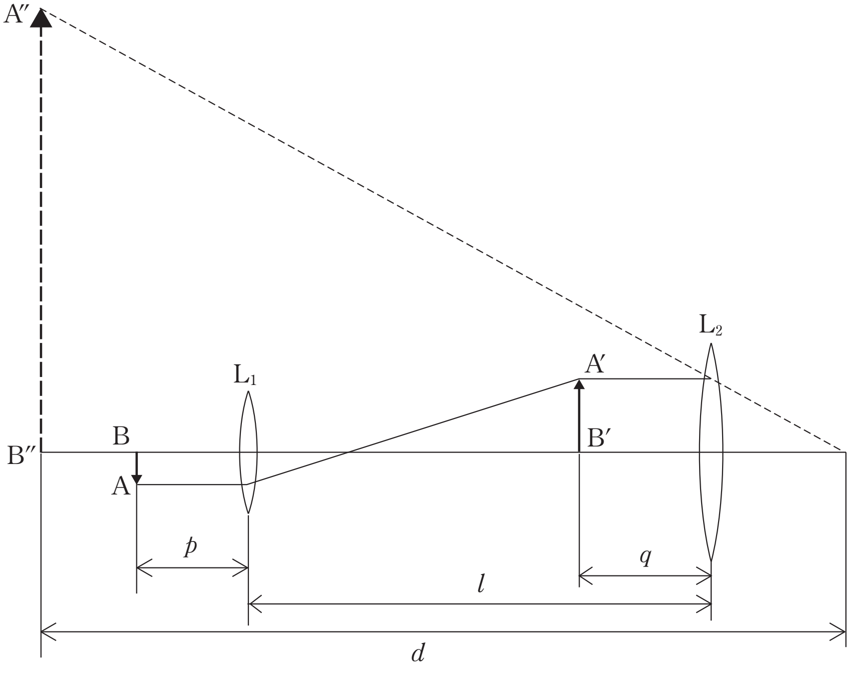
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

　下に顕微鏡の模式図を示す。顕微鏡は対物レンズ L_1（焦点距離が f_1）と接眼レンズ L_2（焦点距離が f_2）から成る。図に示すように，対物レンズを使って物体 AB からそれより大きな実像 A′B′ を作らせ，さらにこの実像を接眼レンズを使って虫眼鏡の原理と同じようにして，目が最も見やすい距離（これを明視の距離という）に拡大された虚像 A″B″ を見るようにするのである。

　物体 AB と対物レンズの距離を p，対物レンズによってできた実像 A′B′ と接眼レンズとの距離を q とする。また両レンズ間の距離を l，明視の距離を d とし，目の位置を接眼レンズの焦点に置く。なおレンズの厚みは物体とレンズの距離や像とレンズの距離に比べて無視してよい。このとき以下の問いに答えなさい。



(1)　対物レンズで物体 AB の実像 A′B′ を得るためには p と f_1 の大小関係はどうであればよいか。

(2)　対物レンズが満たすレンズの式を p，f_1，l，q を用いて表せ。

(3)　接眼レンズで実像 A′B′ の虚像 A″B″ を得るためには q と f_2 の大小関係はどうであればよいか。

(4)　接眼レンズが満たすレンズの式を q，f_2，d を用いて表せ。

(5)　いま対物レンズと接眼レンズの焦点距離 f_1，f_2 がそれぞれ 20mm と 50mm，物体 AB と対物レンズとの距離 p が 24mm，明視の距離 d が 250mm であった。このとき対物レンズによってできた実像 A′B′ と接眼レンズの距離 q はいくらか。また両レンズ間の距離 l はいくらか。

(6)　さらに(5)の場合の顕微鏡の倍率を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第22講　確認テスト

以下の文中の［　　］内に入れるのに最も適当なものを対応する解答群の中からひとつ選び，その番号を解答欄に記入せよ。

図1のように，焦点距離20cmの凸レンズの光軸上の点Pに物体Aを置き，レンズを動かして光軸上の点Qに実像を生じさせる。レンズから点Pまでの距離を a［cm］，レンズから点Qまでの距離を b［cm］とすれば，これらの間に成り立つ関係は，$\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{20}$ と表される。

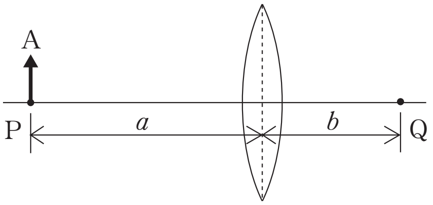


図1

(a)　点Pと点Qの間の距離を98cmにして，レンズを点Pから点Qに向けて動かしたところ，点Qに実像が2回生じた。1回目の a は［ (1) ］cmであり，そのときの像の倍率は［ (2) ］である。また，2回目の a は［ (3) ］cmであり，そのときの像の倍率は［ (4) ］である。

(b)　点Pと点Qの間の距離を変えて，レンズを点Qから点Pに向けて動かしたところ，実像は1回だけ生じた。このときの点Pと点Qの間の距離は［ (5) ］cmであり，像の倍率は［ (6) ］である。

図2のように，焦点距離15cmの凹レンズの光軸上の点Rに物体Bを置き，レンズをのぞいたところ像が見えた。レンズから点Rまでの距離を a'［cm］，レンズから像が見える位置までの距離を b'［cm］とすれば，これらの間に成り立つ関係は，$\dfrac{1}{a'}-\dfrac{1}{b'}=-\dfrac{1}{15}$ と表される。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

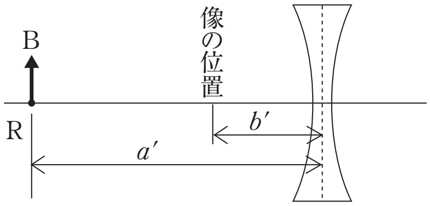


図2

(c)　レンズを通して見えるBの像は，［(7)］である。

(d)　a' を60cmとすると，b' は［(8)］cmである。

解答群

(1)	〔1〕 14	〔2〕 28	〔3〕 35	〔4〕 70
(2)	〔1〕 0.40	〔2〕 1.0	〔3〕 2.5	〔4〕 5.0
(3)	〔1〕 14	〔2〕 28	〔3〕 35	〔4〕 70
(4)	〔1〕 0.40	〔2〕 1.0	〔3〕 2.5	〔4〕 5.0
(5)	〔1〕 50	〔2〕 60	〔3〕 70	〔4〕 80
(6)	〔1〕 1.0	〔2〕 1.5	〔3〕 2.0	〔4〕 2.5
(7)	〔1〕 正立実像	〔2〕 倒立実像	〔3〕 正立虚像	〔4〕 倒立虚像
(8)	〔1〕 10	〔2〕 12	〔3〕 16	〔4〕 20

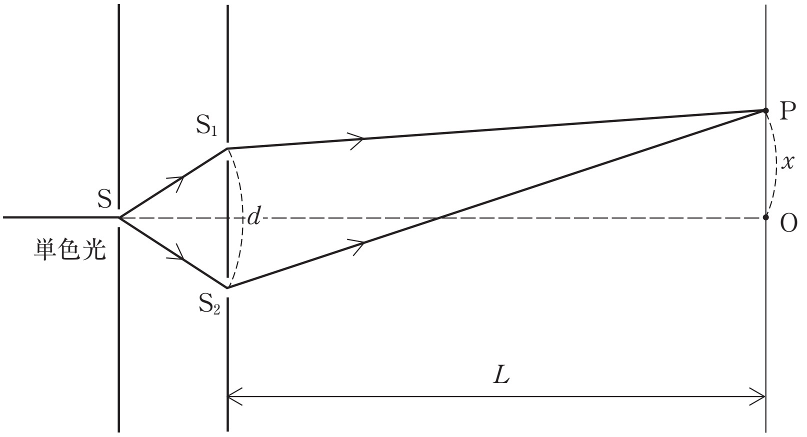
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第23講　光の干渉1

1

図のように，光源を出て単スリットSを通った単色光が，さらに複スリットS_1，S_2を通ってスクリーンに達し，そこで明暗の縞模様をつくった。2つのスリット板とスクリーンは互いに平行である。Sからスクリーンに下ろした垂線がスクリーンと交わる点をOとする。この垂線はS_1とS_2の中間点を通る。光の波長をλ [m]，複スリットの間隔をd [m]，複スリットからスクリーンまでの距離をL [m]とする。点Oからの距離がx [m]の点Pにつくられる干渉縞について以下の問題に答えよ。ただし，dとxはLに比べて十分小さいとし，$|\alpha|$が1に比べて十分小さい場合に成立する近似式$\sqrt{1+\alpha} \fallingdotseq 1+\dfrac{\alpha}{2}$を使ってよい。



図

問1

(1)　Pに明線がつくられる条件をL，d，λ，xおよび整数mを用いて表せ。

(2)　隣り合う明線の間隔を求めよ。

問2

(3)　スリットS_1の直後に屈折率n，厚さa [m]の透明な薄膜を置くと干渉縞の位置がずれる。薄膜を置く前と同じmの明線はどの方向にどれだけずれるか。

(4)　(3)の問題で，干渉縞の明線と暗線の位置が薄膜を置く前と一致した。この条件を満たすaの最小値を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

回折格子を用いて単色光による干渉実験を行った。回折格子から4.8m離れたところに，回折格子に平行にスクリーンを置き，光は格子面に垂直に入射させた。以下の問に答えなさい。ただし，θが1より十分に小さいとき，$\tan\theta \fallingdotseq \sin\theta \fallingdotseq \theta$の近似を用いてよい。また，必要なら$\pi=3.14$を用いなさい。解答はそれぞれにつき解答群より1つ選びなさい。

(1)　格子定数をd，用いる単色光の波長をλ，回折光と入射方向とのなす角をθとする。このとき，強めあう干渉の起こる条件はどれか。ただし，mは整数とする。

①　$\lambda\cos\theta = md$　②　$\lambda\sin\theta = md$　③　$d\cos\theta = m\lambda$　④　$d\sin\theta = m\lambda$
⑤　$d = m\lambda\cos\theta$　⑥　$d = m\lambda\sin\theta$　⑦　$m\cos\theta = d\lambda$　⑧　$m\sin\theta = d\lambda$

(2)　波長6.5×10^{-7}mの単色光を回折格子に当てたところ，スクリーン上に15.6cm間隔で明線が現れた。この回折格子の格子定数は何[mm]か求めなさい。(単位に注意)

①　2.4×10^{-2}　②　2.4×10^{-3}　③　2.4×10^{-4}　④　2.4×10^{-5}
⑤　5.0×10^{-2}　⑥　5.0×10^{-3}　⑦　5.0×10^{-4}　⑧　5.0×10^{-5}
⑨　2.0×10^{-2}　⑩　2.0×10^{-5}

(3)　この回折格子には1cmあたり何本の溝が刻まれているか。

①　42　②　100　③　200　④　420
⑤　500　⑥　1000　⑦　2000　⑧　4200
⑨　5000　⑩　10000

(4)　この回折格子に波長4.0×10^{-7}mの単色光を当てると，スクリーン上に何[cm]間隔で明線が現れるか。

①　8.4　②　9.6　③　10.8　④　12.0
⑤　13.2　⑥　14.4　⑦　15.6　⑧　16.8
⑨　18.0　⑩　19.2

(5)　またこのとき，$\theta=0$に対する明線を0次（$m=0$）とすれば，3次（$m=3$）の明線のできる方向と入射光とのなす角は何度[°]か。(単位に注意)

①　6.0×10^{-2}　②　1.2×10^{-1}　③　0.6　④　1.2
⑤　1.7　⑥　3.4　⑦　4.6　⑧　5.7
⑨　10.8

(6)　さらに，この回折格子とスクリーンの間の実験空間を屈折率1.5の透明な液体で満たし，(4)と同じ単色光を当てると，明線の間隔は何[cm]になるか。

①　3.2　②　4.8　③　6.4　④　8.0
⑤　9.6　⑥　11.2　⑦　12.8　⑧　14.4
⑨　16.0

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

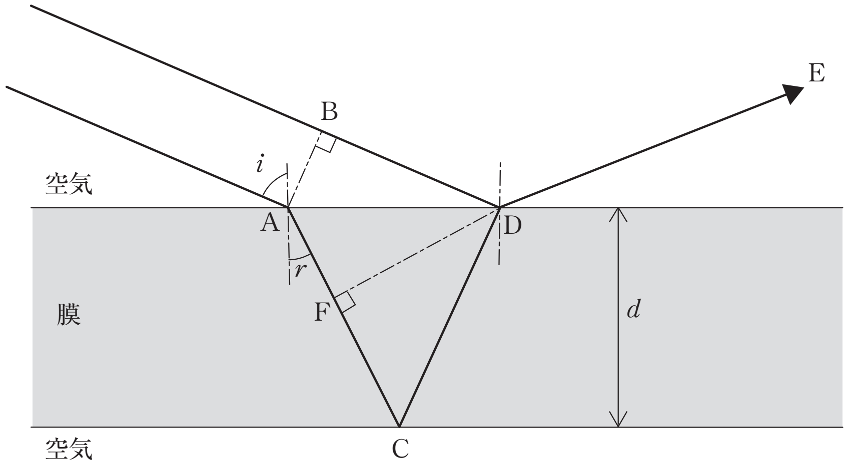
図のように，空気中で薄膜に光を当て，その表面上の点Dで反射した光と，膜の裏面の点Cで反射して出てきた光の干渉を考える。空気の屈折率を1，膜の厚さをd，屈折率をn（$n>1$）とし，入射光の空気中での波長をλとする。また，点Aでの入射角をi，屈折角をrとする。点Aから光の経路の線に下ろした垂線の足をB，点Dから光の経路の線に下ろした垂線の足をFとし，点Aと点Bでは光の位相がそろっているものとする。なお光が反射する際，点Cでは位相のずれはなく，点Dでは位相がπずれる。以下の［　　］にあてはまる数，数式を求めよ。

(1) まず，屈折の法則から，iとrの間には［ あ ］の関係がある。経路の差について考えると，BDの光路長は［ い ］×ADで，AFの光路長は［ う ］×ADと書ける。また，F→C→Dの光路長は［ え ］である。

(2) 以上を考慮すると，A→C→D→Eを通る光とB→D→Eを通る光が点Eにおいて強めあう条件は正の整数mを用いて［ お ］となる。

(3) 波長5.2×10^{-7} [m] の単色光を屈折率$n=1.3$の薄膜に垂直に入射させた。反射光が最も暗くなる膜の厚さの最小値を求めると［ か ］[m] となる。

(4) (3)とは異なる，屈折率$n=1.3$，厚さ$d=4.0\times10^{-7}$ [m] の薄膜を用意し，それに垂直に白色光を当てる。このとき，反射光が強めあう光の波長は，可視光の範囲に限ると［ き ］種ある。ただし，可視光の波長の範囲は4.0×10^{-7} [m] から7.0×10^{-7} [m] とする。



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第23講　確認テスト

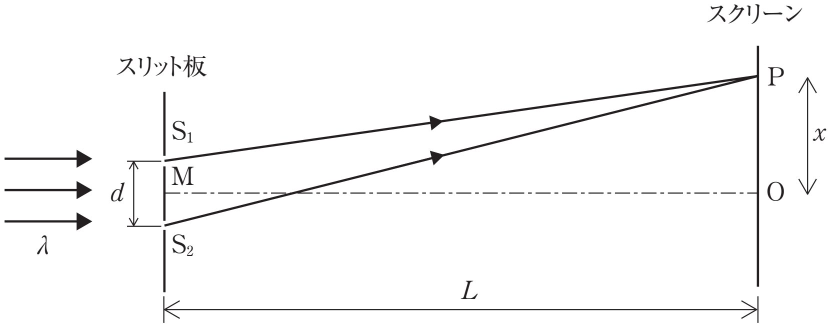
次の文章を読み，下の問１～４に答えなさい。

図のように，間隔 d のスリット S_1，S_2 を持つスリット板に垂直に波長 λ のレーザー光を入射させ，スリット板から距離 L の位置にスリット板と平行に置かれたスクリーンに生じた明暗のしま模様（干渉じま）を観察した。

スクリーン上の点Ｏは，S_1，S_2 の中点Ｍを通り，スリット板に垂直な直線とスクリーンとの交点である。Ｏ点から距離 x の位置にあるスクリーン上の点をＰとする。間隔 d および距離 x は距離 L に比べて十分小さいものとする。なお，必要なら，１に比べて十分小さい数 a あるいは角度 θ に対して成り立つ近似式，

$$\sqrt{1+a} \fallingdotseq 1+\frac{1}{2}a \quad \text{あるいは} \quad \sin\theta \fallingdotseq \tan\theta \fallingdotseq \theta$$

を用いなさい。



問１　スリット S_1，S_2 からスクリーン上のＰ点に達して干渉する光の光路差の絶対値はいくらか。正しいものを，次の①～⑥から一つ選びなさい。［１］

① $\dfrac{xd}{2L}$　② $\dfrac{xd}{L}$　③ $\dfrac{2xd}{L}$　④ $\dfrac{xL}{2d}$

⑤ $\dfrac{xL}{d}$　⑥ $\dfrac{2xL}{d}$

問２　問１で求めた光路差の絶対値を $\varDelta$ とすると，Ｐ点に明線が生じる条件式はどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑥から一つ選びなさい。ただし，$m=0$，1，2，…とする。$\varDelta=$［１］

① $m\times\dfrac{\lambda}{4}$　② $m\times\dfrac{\lambda}{2}$　③ $m\times\lambda$　④ $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\times\dfrac{\lambda}{4}$

⑤ $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\times\dfrac{\lambda}{2}$　⑥ $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\times\lambda$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

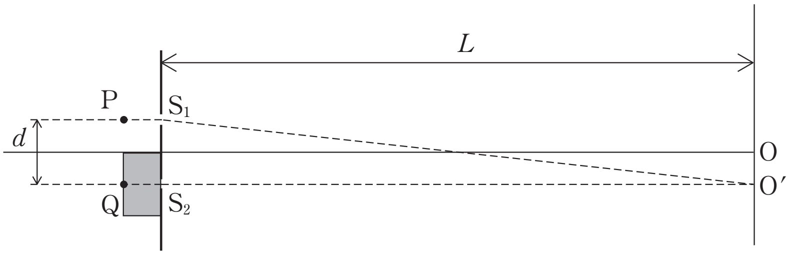
問３　他の条件を変えずに，スリット S_1，S_2 の間隔 d だけを２倍にしたとする。このとき，スクリーン上にできる明線の間隔は変える前の何倍となるか。正しいものを，次の①〜⑧から一つ選びなさい。［　3　］倍

①　$\frac{1}{8}$　　②　$\frac{1}{4}$　　③　$\frac{1}{2}$　　④　$\frac{3}{4}$

⑤　1　　⑥　$\frac{3}{2}$　　⑦　2　　⑧　4

問４　スリットの手前に何も置かないとき，L だけ離れたスクリーン上Ｏ点の明線を０次とする。図のように片方のスリットの手前に屈折率 n（>1）のある厚さの透明な物質を置いたとき０次の明線がO′点にずれた。図中の３点Q，S_2，O′が直線上に並ぶためには透明な物質の厚さをいくらにすればよいか。次の①〜⑥から一つ選びなさい。ただし，透明物質の厚さはスクリーンまでの距離に比べてじゅうぶんに小さいものとする。

［　4　］



①　$\frac{d^2}{2nL}$　　②　$\frac{d^2}{nL}$　　③　$\frac{2d^2}{nL}$　　④　$\frac{d^2}{2(n-1)L}$

⑤　$\frac{d^2}{(n-1)L}$　　⑥　$\frac{2d^2}{(n-1)L}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 24 講　光の干渉２

1

　図１のように，２枚の同じガラス板を上下に重ね，端の点Ｏから距離 l だけ離れた点Ｑに厚さ t のアルミはくをはさんで，点Ｏで２枚のガラス板が接触したまま上のガラス板が下のガラス板に対して角 θ の傾きを持つようにしてある。いま，真上から波長 λ の単色光を当てて上側から見ると，上のガラス板の下面での反射光と下のガラス板の上面での反射光が干渉して，明暗のしま模様が見えた。空気およびガラスの絶対屈折率をそれぞれ 1.0 および 1.5 として次の問に答えよ。ただし，点Ｏと点Ｑの距離 l は，アルミはくの厚さ t とくらべて十分に大きいとする。

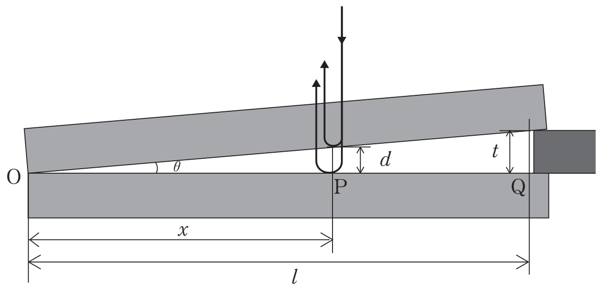


図１

問１　点Ｏから x 離れた点Ｐで明線が見られた。点Ｐにおけるガラス板の間隔 d と波長 λ の関係を求めよ。また，x と波長 λ の関係を求めよ。必要ならば整数 m（$m = 0$，1，2，…）を用いてもよい。

問２　明線の間隔 D を，λ，l，t を用いて表せ。

問３　問２の結果を用い，$\lambda = 5.9\times10^{-7}$m，$l = 1.0\times10^{-1}$m，$D = 2.0\times10^{-3}$m としてアルミはくの厚さ t [m] を求めよ。

問４　問３で求めた厚さのアルミはくをはさんだ状態で，ガラス板の間を絶対屈折率 1.3 の透明な液体で満たした。このとき明線の間隔 D' [m] を求めよ。

問５　ガラス板の間を絶対屈折率 1.3 の透明な液体で満たしたまま，図２のように，透過光の干渉を下側から観察したところ，点Ｏから x' 離れた点Ｐ′で明線が見られた。点Ｐ′におけるガラス板の間隔 d' と波長 λ の関係を求めよ。また，x' を λ，l，t を用いて表せ。必要ならば整数 m（$m = 0$，1，2，…）を用いてもよい。

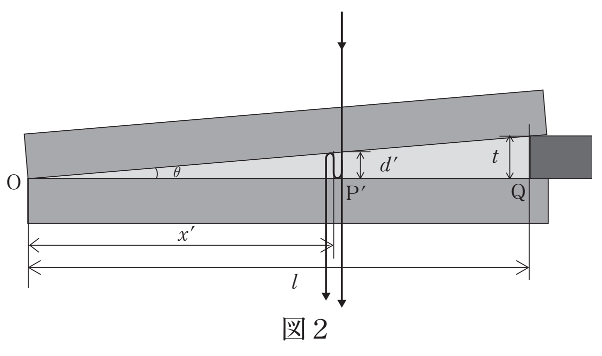


図２

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

次の文の空所［イ］～［ト］にあてはまる数式または語句を，それぞれ対応するａ～ｆから１つずつ選び，その記号を所定欄にマークせよ。

⑴　片方が平面でもう片方が球面のレンズを平凸レンズと呼ぶ。図１のように，この球面を下向きにして平面ガラスの上に載せ，球面と平面ガラスの間に薄い空気層をつくる。空気の屈折率は１で，球面と平面ガラスとの接触点をＯとする。波長 λ の平行光線を平面ガラスに垂直に上から入射させると，レンズの下面で反射した光と平面ガラスの上面で反射した光が干渉する。ここで平面ガラス上面での反射点をＰとする。球面と平面ガラスとの間の空気の層は非常に薄いので，入射光と反射光は平行とみなすことができ，光の経路差 L と光が通過する空気層の厚さ d の関係は［イ］となる。平凸レンズの球面の半径を R，ＯからＰまでの距離を r とすると，$r^2 =$［ロ］となる。ここで，d^2 の値は非常に小さいとして無視すると，結局，$L =$［ハ］となる。薄い空気層からＰに向かう光が境界面で反射するとき，光の位相がずれるが，これは［ニ］の経路差に相当する。したがって，両反射光線が強め合って明るくなる条件は，m を整数として，［ホ］$= m\lambda$（m =1，2，3，……）となり，$r^2 =$［ヘ］（m =1，2，3，……）と求めることができる。この条件に適合するＯを中心とする半径 r の円周上の点は全て同等であるから，図２のような，Ｏを中心とした環状の干渉縞が見られる。m が大きくなるにつれて環の半径は増加し，隣り合う環の間隔は［ト］。

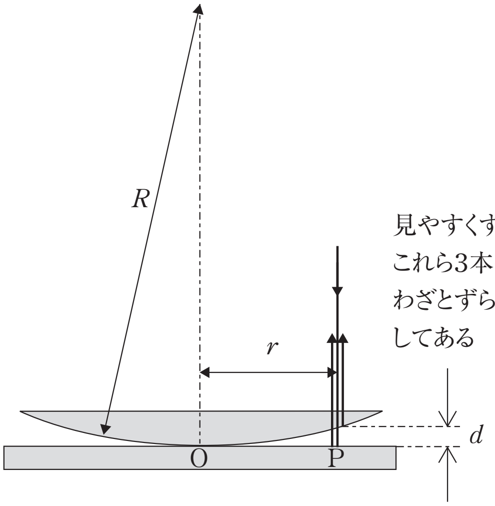


図１

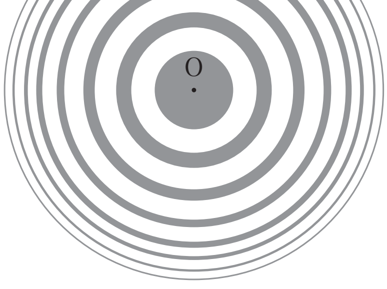


図２

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

イ

a．$\frac{1}{L}=\frac{d}{2}$　b．$\frac{1}{L}=d$　c．$\frac{1}{L}=2d$　d．$L=\frac{d}{2}$

e．$L=d$　f．$L=2d$

ロ

a．$(R-d)d$　b．$(R+d)d$　c．$(2R-d)d$　d．$(2R+d)d$

e．$(R-2d)d$　f．$(R+2d)d$

ハ

a．$\frac{R^2}{r}$　b．$\frac{r^2}{R}$　c．$\frac{R(r+R)}{r}$　d．$\frac{r(r+R)}{R}$

e．$\frac{(r+R)^2}{r}$　f．$\frac{(r+R)^2}{R}$

ニ

a．3λ　b．2λ　c．λ　d．$\frac{\lambda}{2}$

e．$\frac{\lambda}{3}$　f．$\frac{\lambda}{4}$

ホ

a．$\frac{r^2}{R}+\frac{\lambda}{2}$　b．$\frac{R(r+R)}{r}+\lambda$　c．$\frac{(r+R)^2}{R}+\frac{\lambda}{3}$　d．$\frac{(r+R)^2}{r}+2\lambda$

e．$\frac{r(r+R)}{R}+3\lambda$　f．$\frac{R^2}{r}+\frac{\lambda}{4}$

ヘ

a．$\frac{2m+1}{3}\lambda R$　b．$\frac{2m-1}{3}\lambda R$　c．$\frac{2m+1}{2}\lambda R$　d．$\frac{2m-1}{2}\lambda R$

e．$\frac{3m+1}{3}\lambda R$　f．$\frac{3m-1}{3}\lambda R$

ト

a．少しずつ大きくなる

b．少しずつ小さくなる

c．変わらない

d．大きくなったり小さくなったりする

e．少しずつ大きくなるが，あるところから変わらなくなる

f．少しずつ小さくなるが，あるところから変わらなくなる

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

以下の問の答を記入せよ。

図１に示すように，屈折率 n_1（$n_1>1$），厚み D の透明な樹脂の一方の面に平坦な金属の板を接着し，金属をつけていない方の面に，屈折率 n_2 の半円柱状のガラスを密着させた。このときレーザー光線をガラス表面に垂直に，O 点を通るように入射させる。ガラスと樹脂の境界面に角度 i で入射したレーザー光線は，角度 r で屈折した後，光線は金属面で反射し，樹脂と空気の境界面上の P 点から角度 θ で出ていった。空気の屈折率を１として，以下の問に答えよ。

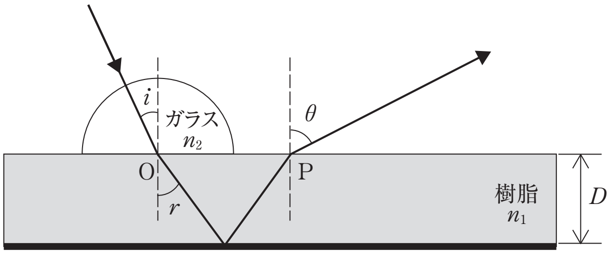


図１

問１　屈折率 n_2 を，n_1，i，r を用いて表せ。

レーザー光線が O 点を通過するようにしたまま，角度 i を大きくしていくと，ちょうど $i=i_C$ のとき，P 点で全反射が起こった。また，このとき OP の長さは L だった。

問２　屈折率 n_2 を，i_C を用いて表せ。

問３　屈折率 n_1 を，L と D を用いて表せ。

問４　ガラスの材質を変えて屈折率 n_2 が変化しても，角度 i を調節することにより，P 点で全反射が起こるようにしたい。これが可能であるための必要十分条件を，次の(イ)～(ホ)の中から一つ選べ。

(イ)　$n_2>n_1$　　(ロ)　$n_2<n_1$　　(ハ)　$n_2=n_1$

(ニ)　$n_2>1$　　(ホ)　$n_2=1$

次に，図１の半円柱状のガラスと金属板を取り除き，図２に示すように，新たに，細かい溝が一定の間隔 d で並んでいる金属板を接着し，レーザー光線を入射した。ただし，レーザー光線は，溝の間隔 d よりも十分大きな幅で平行に入射するものとする。入射したレーザー光線は，溝によっていろいろな方向に散乱されるが，ある特定の方向の光は干渉して強めあう。これは，溝のついた金属板が回折格子と類似のはたらきをすることを示す。以下では，角度 i で入射し，散乱されて角度 θ で出ていく光について考察する。空気中でのレーザー光線の波長を λ として，以下の問に答えよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

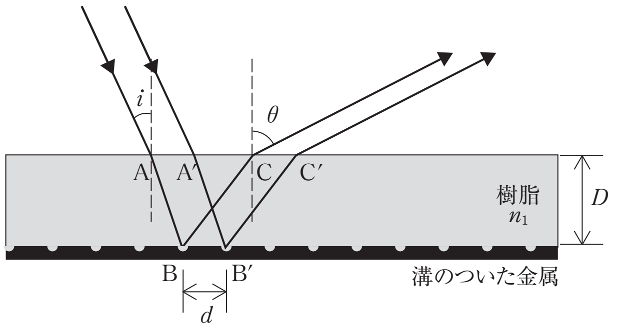


図２

問５　角度iでＡ点に入射し，Ｂ点で散乱された後，角度θでＣ点から出ていく光と，角度iでA′点に入射し，B′点で散乱された後，角度θでC′点から出ていく光の光路差の絶対値を求めよ。ただし，Ａ点とA′点，Ｂ点とB′点，Ｃ点とC′点は，それぞれ距離dだけ離れている。

問６　任意の整数Nを用いて，問５の光が強めあう条件を式で表せ。

回折の様子を調べるために，樹脂の上面から100mm上方に半透明の紙を樹脂面と平行に固定し，レーザー光線を入射角30°で入射したところ，干渉によって強めあった光が，図３の①～⑤に示す輝点となって紙面上で観測された。レーザー光線の中心が金属に当たる位置の真上を原点として，図３に示すようにx軸をとった。③の輝点の座標を測定したところ，10mmであった。ただし，樹脂の厚みDは100mmよりも十分小さいものとする。

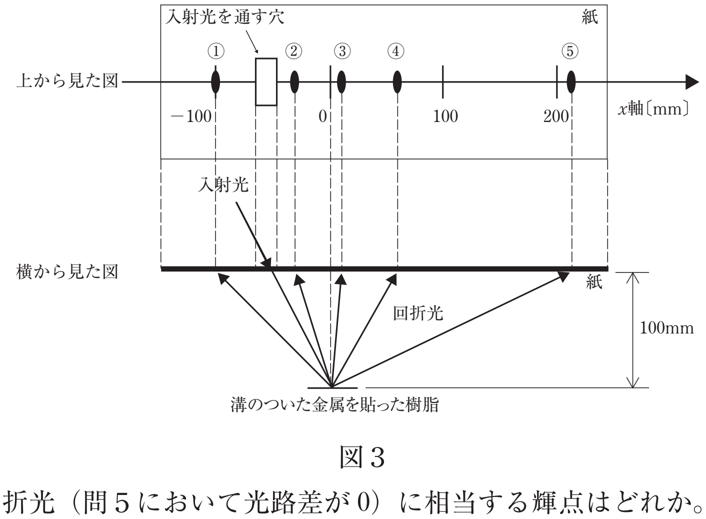


図３

問７　０次の回折光（問５において光路差が０）に相当する輝点はどれか。①～⑤の番号で答えよ。

問８　用いたレーザー光線の波長は$\lambda = 6.4 \times 10^{-7}$［m］であった。間隔$d$を有効数字２桁で求めよ。

問９　光線の入射方向を保ったまま，波長λをわずかに増加させると輝点のいくつかは移動した。x軸の正の方向，および負の方向に移動した輝点の番号を，それぞれ全てあげよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第24講　確認テスト

次の文中の［1］から［5］に最も適するものをそれぞれの解答群から一つ選び，所定の欄にその記号をマークせよ。

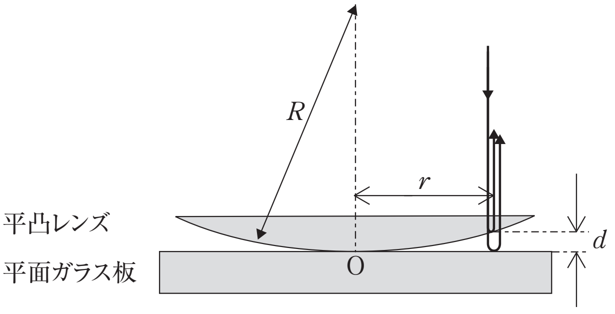
図のように，半径 R の球面の一部と平面からできているガラス製の平凸レンズの凸面を平面ガラス板の上におく。レンズの平面とガラス板は平行である。この平面に垂直に，レンズの上方から真空中の波長が λ の平行光線を入射し，上から観察する。レンズとガラス板の間の空気層の厚さが薄いとき，レンズとガラス板の接点Oを中心とする同心円状の明るいリング（輪）と暗いリングが交互にあらわれる。これは，図のようにレンズの下面で反射した光とガラス板の上面で反射した光が干渉することによって起こる。このしま模様はニュートンリングといわれる。半径が r のリングのところでの空気層の厚さ d は，$r \ll R$ のとき，近似的に $d \fallingdotseq \dfrac{r^2}{2R}$ と表すことができる。

レンズの下面で光が反射する場合のように，光が屈折率の大きい媒質から屈折率の小さい媒質へ向かうところで起こる反射では，光の位相は変わらない。一方，ガラス板の上面で光が反射する場合のように，屈折率が小さい媒質から屈折率が大きい媒質へ向かうところで起こる反射では，光の位相は π，つまり半波長分だけずれる。レンズとガラス板が接触している経路差が0とみなせる中心部分では，二つの反射光が互いに弱めあい暗く見える。一方，中心から外側へ $m=1, 2, 3, \cdots$ と数えて m 番目の明るいリングのところでは，二つの光の経路差 $2d$ は［1］に等しい。ただし，空気の屈折率を1とする。以上により，m 番目の明るいリングの半径 r_m は，［2］と求まる。この結果から，隣り合う明るいリングの間隔は［3］。上から赤い光を入射した場合と青い光を入射した場合について比較すると，m 番目の明るいリングの半径は［4］。

次に，レンズとガラス板のすきまに水を満たし，真空中の波長 λ の単色光を上から入射する。水の屈折率 n は，空気より大きく，ガラス（レンズや平面ガラス板）より小さい。この場合，m 番目の明るいリングの半径 r_m' は，水を満たす前の半径 r_m を使うと，

$$r_m' = \boxed{5}\, r_m$$

と表すことができる。



©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

| 1 |の解答群

(A) $m\lambda$　(B) $\frac{m}{2}\lambda$　(C) $\frac{m}{4}\lambda$　(D) $\left(m-\frac{1}{2}\right)\lambda$

(E) $\left(m-\frac{1}{4}\right)\lambda$　(F) $(m-1)\frac{\lambda}{2}$　(G) $(m-1)\frac{\lambda}{4}$

| 2 |の解答群

(A) $\sqrt{\frac{mR}{\lambda}}$　(B) $\sqrt{\left(m-\frac{1}{4}\right)\frac{R}{\lambda}}$　(C) $\sqrt{\left(m-\frac{1}{2}\right)\frac{R}{\lambda}}$　(D) $\sqrt{mR\lambda}$

(E) $\sqrt{\left(m-\frac{1}{4}\right)R\lambda}$　(F) $\sqrt{\left(m-\frac{1}{2}\right)R\lambda}$　(G) $\sqrt{\frac{m\lambda}{R}}$　(H) $\sqrt{\left(m-\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{R}}$

(I) $\sqrt{\left(m-\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{R}}$

| 3 |の解答群

(A) 外側へいくほど広くなる　(B) 外側へいくほど狭くなる

(C) 中心からの距離によらず一定である

| 4 |の解答群

(A) 赤い光の方が大きくなる　(B) 青い光の方が大きくなる

(C) かわらない

| 5 |の解答群

(A) n^2　(B) n　(C) $\sqrt{n}$　(D) 1

(E) $\frac{1}{\sqrt{n}}$　(F) $\frac{1}{n}$　(G) $\frac{1}{n^2}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第25講　総合演習3

1

問1　図1に示されている波を考える。この図はある媒質の時刻 $t=0$ s での変位を表したものである。x 軸上にある媒質は y 軸方向に振動することができるようになっており，波は x 軸の正の向きに進んでいる。波は振幅が 12cm の正弦曲線であり，波の振動数は 5 Hz とする。以下の問に答えなさい。解答では［　　］の中に適切な数値を記入しなさい。ただし［(エ)］は図示しなさい。

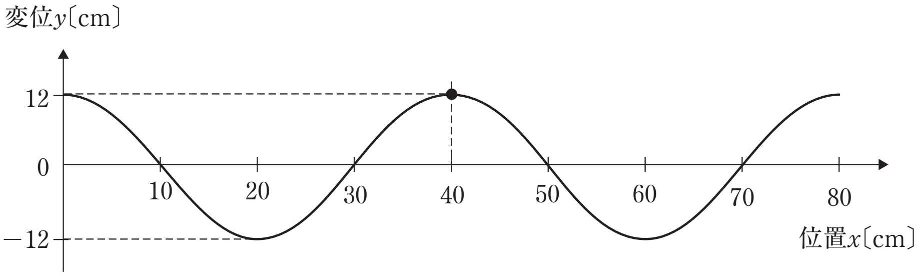
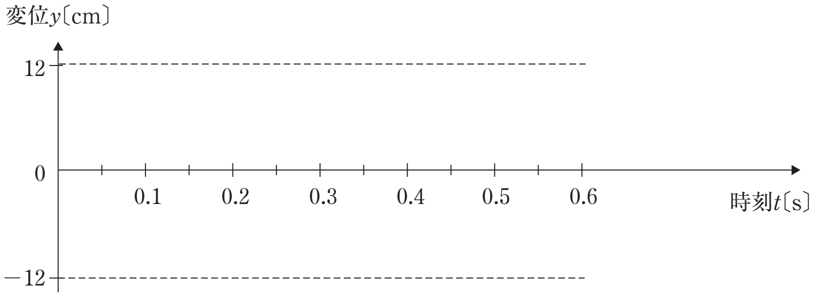


図1

(1)　波の周期は［(ア)］s，波長は［(イ)］cm，速さは［(ウ)］cm/s である。

(2)　$x=40$ cm の位置にある媒質の $t=0\sim0.6$ s の範囲での変位を解答欄［(エ)］に図示しなさい。



問1(2)の解答欄［(エ)］

(3)　図1の状態から，時間が 0.55 s 経過した後の波形において，$x=0\sim50$ cm の範囲で，変位 y が正の方向に最大値になる x の値は［(オ)］cm である。

(4)　図1の $x=80$ cm のところで自由端反射が起きるとすると，$x=20$ cm の位置において，入射波と反射波でできる合成波の振幅は［(カ)］cm である。また，$x=80$ cm のところで固定端反射が起きるとすると，$x=20$ cm の位置において，入射波と反射波でできる合成波の振幅は［(キ)］cm である。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問2　図2に示されているような波を考える。x 軸上にある媒質は，y 軸方向に振動することができるようになっている。波が x 軸の正の向きに速さ v で伝わっていくとき，A を振幅，T を周期，t を時刻とすると，$x=0$ の位置にある原点Oでの媒質は式 $y=A\sin 2\pi\dfrac{t}{T}$ で表される単振動をする。このとき，任意の位置 x での媒質の振動を表す式を考える。以下の問に答えなさい。解答では□の中に適切な数式を記入しなさい。

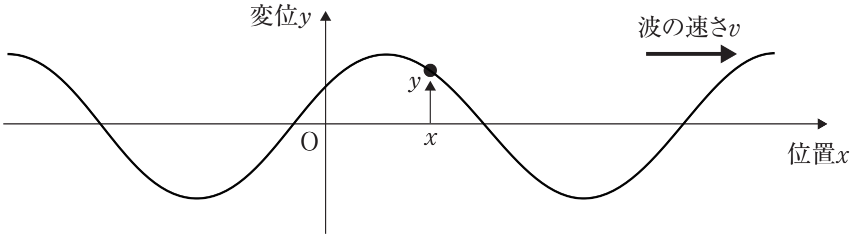


図2

点Oから位置 x に波が伝わるのに［(ク)］だけ時間がかかるから，時刻 t における位置 x での媒質の変位は時刻［(ケ)］における点Oでの媒質の変位に等しい。したがって，時刻 t における位置 x での媒質の変位 y は $y=A\sin\dfrac{2\pi}{T}$(［(コ)］) で表される。この式は波長 λ を使用することにより，$y=A\sin 2\pi$(［(サ)］) で表される。ただし，［(サ)］の解答には速さ v を使ってはいけない。

次に，振幅，周期，波長が図2の波と同じで，x 軸上の負の向きに進む波は $y=A\sin 2\pi$(［(シ)］) で表される。この波は時刻 $t=0$ の瞬間における原点Oでの媒質の変位が0で，波の位相は正の方向に進む波と同位相になっている。ただし，［(シ)］の解答には速さ v を使ってはいけない。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

焦点距離fの単焦点レンズLをつけたデジタルカメラがある。図1のように，このレンズLの中心から距離aのところに金網があり，その向こう側にある被写体ABを金網を通して撮影することを考える。被写体ABにピントを合わせたときに，デジタルカメラの撮像素子（フィルムカメラのフィルムに相当するもの）の上にできる金網の像がぼけていれば，金網越しでも被写体を見やすく撮影できる。ここではそのための条件を考える。なお，金網はレンズの光軸に垂直で，網目は一辺hの正方形とする。

(1)　図1のように，金網の隣り合う二つの針金交点をP，Qとし，$\overline{PQ}$の中点Oを光軸が通っているとする。点P，Qの像P′，Q′を解答欄に作図して示しなさい。なお，解答欄の図（省略）には，点P，Qからそれぞれ出た2本の光線が途中まで描かれている。解答はこの光線を使って完成すること。

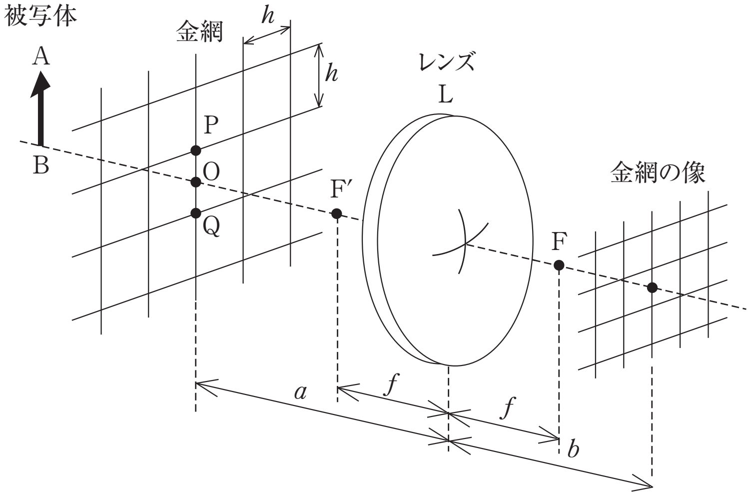
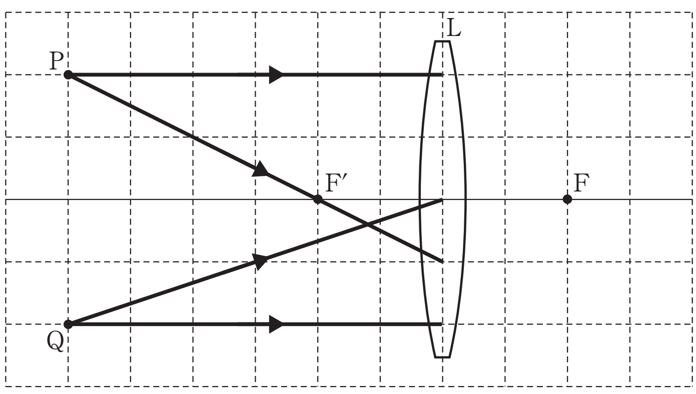


図1



(1)の解答欄

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)　図1のように，金網の像ができる面からレンズLの中心までの距離を b とする。これを f と a を使って示しなさい。

(3)　像P′，Q′を結んだ $\overline{\mathrm{P'Q'}} = h'$ の大きさを f，a，h を使った式で示しなさい。

(4)　いま，レンズLの焦点距離が $f = 50$ mm で，金網は $a = 300$ mm の位置にあり，網目の1辺は $h = 30$ mm であるとする。このとき，金網の像ができる位置までの距離 b とその網目の1辺の長さ h' を求めなさい。

(5)　つぎに，撮像素子をレンズの後方焦点Fと像P′，Q′ができる面の間に位置するように光軸に沿って動かした。もしも図2(a)のような位置に撮像素子がある場合，P，Qから出た光は撮像素子上で互いに重ならず，そこにはぼけた太い網目模様が現れるため，金網の存在を無視することはできない。一方，図2(b)のように撮像素子が後方焦点Fに近い位置にあると，これらの光は撮像素子上で互いに重なり合うため，網目模様は認識しにくくなる。この重なりが生じ始めるのは，撮像素子を点Rに位置するように動かしたときである。設問(4)の条件の場合に対する，レンズの中心から点Rまでの距離 c を求めよ。ただし，レンズの直径は $D = 34$ mm とする。

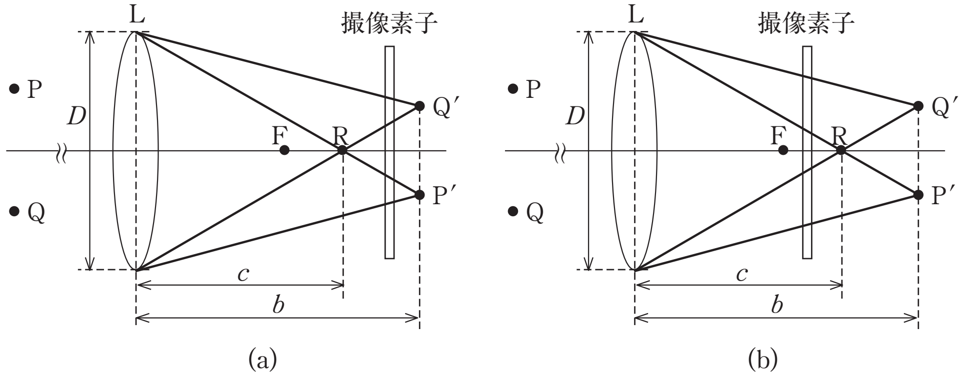


図2

(6)　図2(b)のように，PとQから出た光が互いに重なり合う位置にある撮像素子上に被写体の実像ができるようにすれば，金網越しでも被写体の像を見やすく写すことができる。レンズの前方（金網側）のどの位置にある被写体であればそれが可能か，その位置の範囲を示しなさい。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

コンパクトディスク（CD）の記録面が虹色に見える現象を題材にして，光の性質を観察する実験を考えよう。

CD の記録面は図１のような構造で，図２の断面図に示すように，透明基板の下層に反射膜が塗布された面があり，その面上にピットと呼ばれる情報が記録されている部分が半径方向に間隔 d で周期的に並んでいる。ピットのない部分では光がそのまま反射されるが，ピットの部分で光が乱反射されると仮定する。このとき，CD の記録面は格子定数 d の回折格子とみなすことができる。ピットは曲線上に並んでいるが，狭い範囲について考えたときは直線に並んでいると考えて差し支えないものとする。

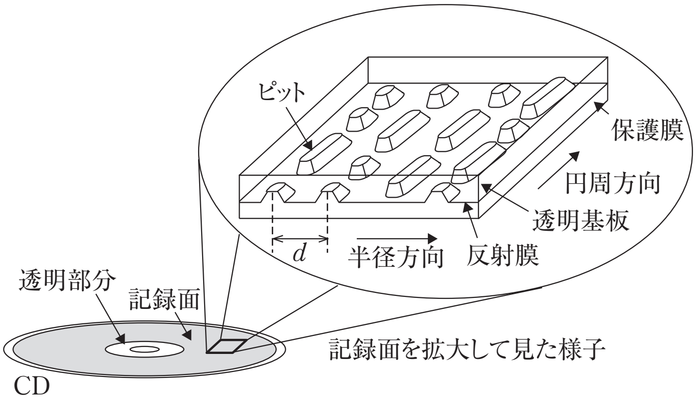


図１

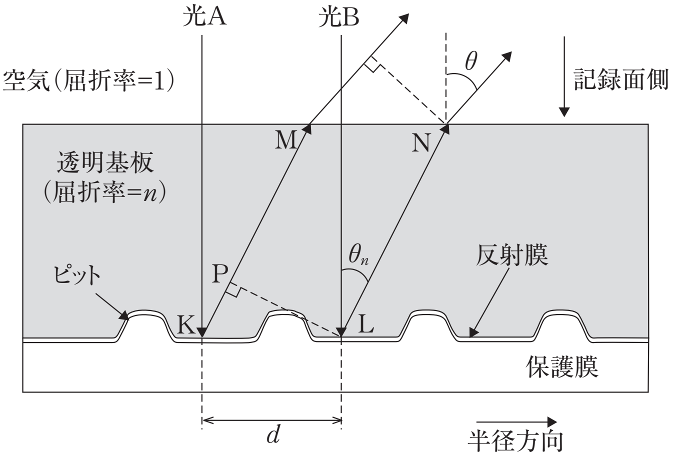


図２

〔A〕

図３のように白い紙で作ったついたてに小さな穴 W を開け，その裏側からレーザー光を CD の記録面に対して垂直に照射して，その反射光をついたて上で観察する。レーザー光の空気中での波長を λ，空気の屈折率を１とする。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

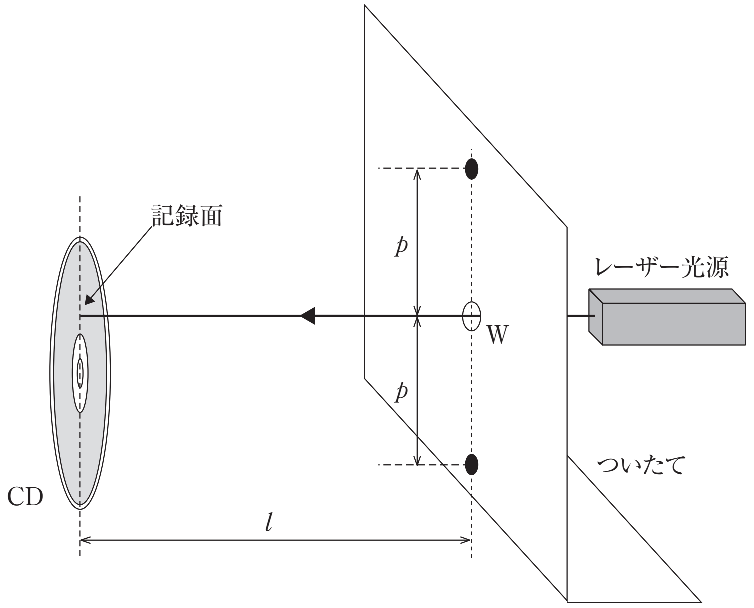


図3

(a)　以下の空欄①～④に入る適切な数式を答えよ。

図2に示すように，間隔 d だけ離れて透明基板に入射する光Aと光Bを考える。屈折率 $n\,(>1)$ の透明基板中で，光Aは点Kで反射膜に対して垂直に入射し，回折した光が点Mから透明基板を出ていく。光Bは点Lで反射膜に垂直にあたり，その回折光は点Nから出ていく。このとき，距離KPが光の波長の整数倍であれば，光Aと光Bは強めあうことになる。透明基板中での光の波長は［①］で与えられるので，透明基板中で回折光が入射光となす角を θ_n とすると，強め合う条件は［②］$= m$［①］（m は整数）となる。

光Aと光Bがそれぞれ点Mと点Nで透明基板を出た後，基板表面の法線に対して θ の方向に進む。θ は，n および θ_n と［③］の関係を持つ。この関係式を用いて θ_n を消去すると，CDから十分離れたスクリーン上で強め合う条件は，$d\sin\theta =$［④］となる。

(b)　透明基板中で回折光の角 θ_n が大きいとき，透明基板から空気中へ出ていく光がなくなる場合がある。その理由を述べよ。またそのときの角 θ_n が満たす関係式を示せ。

(c)　図3の実験において，CDとついたての間の距離 l が300 mmのとき，小さな穴Wの上下に $p = 100$ [mm] だけ離れた位置に一つ目の回折光が観察された。レーザー光の波長が0.50 μm であるとき，格子定数 d は何 μm であるか。有効数字2桁まで求めよ。なお，これ以降の議論では透明基板の厚さは無視してよい。また，必要であれば以下の値を用いてよい。

$\sqrt{2} \fallingdotseq 1.41$，$\sqrt{3} \fallingdotseq 1.73$，$\sqrt{5} \fallingdotseq 2.24$，$\sqrt{10} \fallingdotseq 3.16$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

〔B〕

次に，図４のように白熱灯光源から出た光が小さな穴 W′ を通り，凸レンズにより平行な光となってCDの記録面全体へ垂直にあたるようにした。図中で点Pは CD の中心であり，点Pから CD の法線上に z だけ離れた位置Qから CD 表面を見たとき，赤，黄，緑，紫などの色のついた回折パターンが観察された。ただし観察するとき CD に照射される光をさえぎることはないものとする。

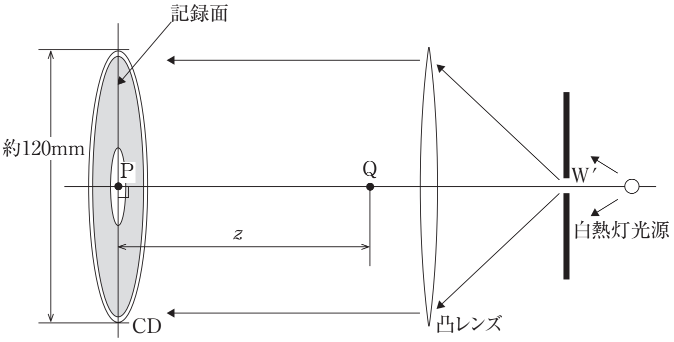
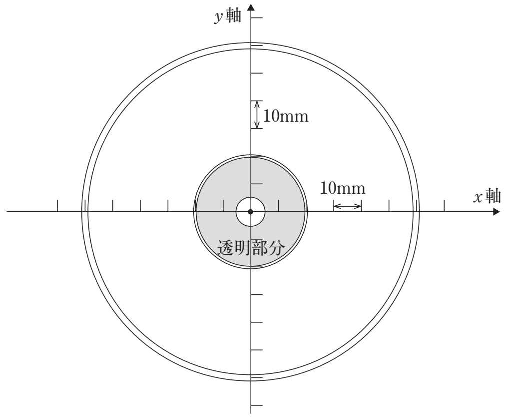


図４

(d)　下の図のように，CD の記録面上に点Pを原点として x−y 座標を定義する。このとき，点Qから見てこの面上で波長 λ の回折光が強め合う位置の座標 x，y と PQ 間の距離 z の間の関係式を求めよ。ただし z は x，y よりも十分大きく，$x^2+y^2+z^2 \fallingdotseq z^2$ としてよい。

(e)　$z=120$ [mm] としたとき，紫色（$\lambda \fallingdotseq 0.40$ [μm]）から赤色（$\lambda \fallingdotseq 0.64$ [μm]）に変化する虹色の回折パターンがどのように配置されるか，下の図の目盛りを参考にして，おおよその形を描き入れよ。



(e)の解答欄

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第25講　確認テスト

□にあてはまる最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。

(1)

室温 t_0［℃］の部屋で次の実験を行なった。この温度での空気中の音速は340m/sであるとする。

(a) 長さ $l=60$cm で一様な線密度の弦の中央をはじいて基本振動を生じさせる。500Hzの音になるように弦の張力を調節した。このとき，弦を伝わる波の速さは［ア］m/sであり，空気中を伝わる弦の音の波長は［イ］cmである。

［ア］，［イ］の解答群

① 0.68　② 60　③ 68　④ 300
⑤ 340　⑥ 440　⑦ 500　⑧ 600
⑨ 1200

(b) 垂直に立てたガラス管に水を入れ，管口近くでおんさを鳴らしながら，水位を下からゆっくり上げていく。水面から管口までの距離を L［cm］とする。$L=L_1$ で共鳴が起こり，更に水位を上げると $L=L_2$ のときに共鳴が起こった。$L=L_1$ のときにできる定常波の節の個数は［ウ］である。ただし，管口は定常波の腹になっているものとする。

［ウ］の解答群

① $\dfrac{L_1+L_2}{2(L_1-L_2)}$　② $\dfrac{L_1+L_2}{L_1-L_2}$　③ $\dfrac{3L_1-L_2}{2(L_1-L_2)}$　④ $\dfrac{3L_1-L_2}{L_1-L_2}$

管の全長が120cmのとき，管の下端から上端まで水位を変化させると，500Hzのおんさとの間に［エ］回共鳴が起こる。

［エ］の解答群

① 0　② 1　③ 2　④ 3
⑤ 4　⑥ 5　⑦ 6　⑧ 7
⑨ 8

管口から水面までの距離を50cmに固定して，管口近くにスピーカーを置いて音を出す。音の振動数を40Hzから2000Hzまで連続的に変化させると，［オ］回共鳴が起こる。

［オ］の解答群

① 0　② 1　③ 2　④ 3
⑤ 4　⑥ 5　⑦ 6　⑧ 7
⑨ 8

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)

室温が t_0［℃］から下がったとき，長さ l［cm］の弦と，管口と水面の距離が L［cm］の管の固有振動数の変化を正しく記述しているのは［カ］である。ただし，L，l および弦の張力と線密度は温度変化の影響を受けないものとする。

室温を t_0［℃］に保ち，部屋全体をヘリウムの気体で満たす。このとき，弦と管の固有振動数の空気中の値からの変化を正しく記述しているのは［キ］である。ただし，ヘリウム気体中の音速は空気中の音速の約3倍とする。また，L，l および弦の張力と線密度はヘリウムの影響を受けないものとする。

［カ］，［キ］の解答群

	弦の固有振動数	管の固有振動数
①	変化しない	変化しない
②	変化しない	増加する
③	変化しない	減少する
④	増加する	変化しない
⑤	減少する	変化しない
⑥	増加する	増加する
⑦	減少する	減少する
⑧	増加する	減少する
⑨	減少する	増加する

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

テキスト解答

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第１講　解答

1

［A］

（1）$\dfrac{{v_0}^2}{2a}$　　（2）時刻 $\dfrac{2v_0}{a}$，位置 $\dfrac{2{v_0}^2}{a}$

［B］

（1）$a=2.0$［m/s^2］　　（2）$d=1.5$［m/s^2］

（3）4500［m］　　（4）3300［m］

（5）50［秒］

2

（1）$t_0=\dfrac{v_0}{g}$［s］　（2）(ア)　（3）(カ)　（4）(エ)

（5）(ウ)　（6）(イ)　（7）(オ)

3

（1）$V_x=\dfrac{\sqrt{3}}{2}V$，$V_y=\dfrac{1}{2}V$

（2）$v_x=\dfrac{\sqrt{3}}{2}V$，$v_y=\dfrac{1}{2}V-gt$，$x=\dfrac{\sqrt{3}}{2}Vt$，$y=\dfrac{1}{2}Vt-\dfrac{1}{2}gt^2$

（3）$h=\dfrac{V^2}{8g}$　　（4）$R=\dfrac{\sqrt{3}\,V^2}{2g}$

（5）$\tan\alpha=\dfrac{1}{\sqrt{3}}-\dfrac{2gt}{\sqrt{3}\,V}$　　（6）$y=\dfrac{1}{\sqrt{3}}x-\dfrac{2g}{3V^2}x^2$

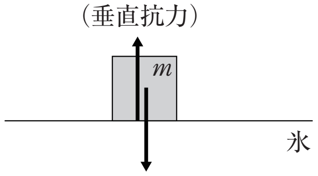
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第２講　解答

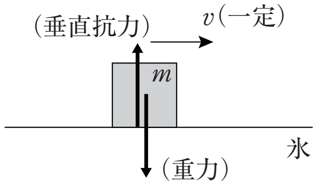
1

(1)

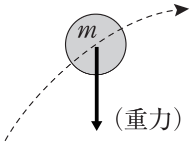
(ア)



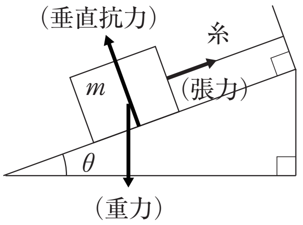
(イ)



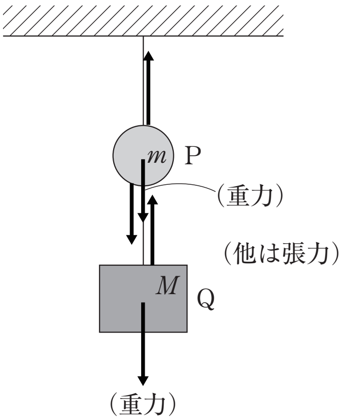
(2)



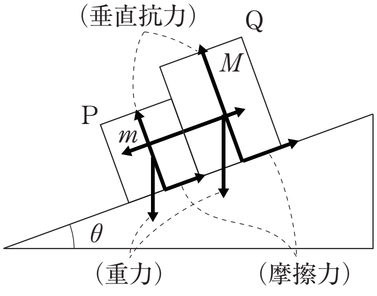
(3)



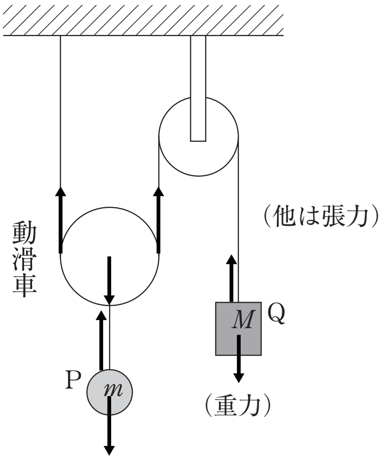
(4)



(5)



(6)



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

(1)　$T=N=\dfrac{1}{\sqrt{3}}mg$ [N]　　(2)　$R=\dfrac{1}{2\sqrt{3}}mg$ [N]　　$P=Mg+\dfrac{1}{2}mg$ [N]

3

(1)　$26g$ [N]　　(2)　$34g$ [N]

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第３講　解答

1

(1)　A：$Ma = T$　　B：$ma = F - T$　　(2)　$a = \dfrac{F}{m+M}$

(3)　$T = \dfrac{M}{m+M}F$　　(4)　$\dfrac{M}{m+M}F'$

2

①　$M_A g \sin\theta$

②　$(M_A + M_B) g \sin\theta$

③　$(M_A + M_B) \sin\theta$

④　$-g \sin\theta$

⑤　$M_B g \sin\theta$

⑥　$M_C g$

⑦　$\dfrac{M_C - M_B \sin\theta}{M_B + M_C} g$

⑧　$\dfrac{M_B M_C}{M_B + M_C}(1 + \sin\theta) g$

⑨　$\dfrac{M_C(1 + \sin\theta)}{2(M_B + M_C)} g t_0{}^2$

3

問１　(1)　$\dfrac{F_1}{3m}$　　(2)　ともに　$\dfrac{F_1}{3}$　　(3)　$\sqrt{\dfrac{2F_1 d}{3m}}$

問２　(1)　A：$\mu' g$　　B：$\dfrac{F_2}{m} - 3\mu' g$　　C：$2\mu' g$　　(2)　$\dfrac{F_2 - 3\mu' mg}{2(F_2 - 4\mu' mg)} l$

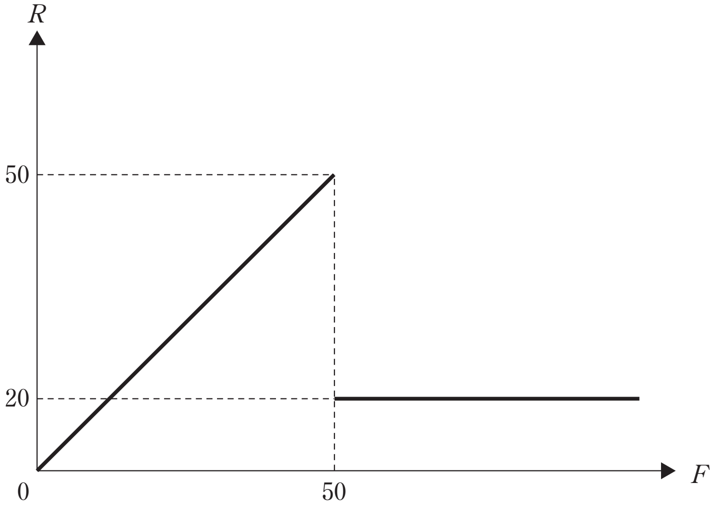
第４講　解答

1

［A］

(1)　30［N］

(2)



［B］

(1)　$\dfrac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}$　　(2)　$\dfrac{\mu' mg}{\cos\theta+\mu'\sin\theta}$

2

(1)　Mg　　(2)　$(\sin\theta-\mu\cos\theta)m$　　(3)　$(\sin\theta+\mu\cos\theta)m$

3

(ア)　$\mu Mg\cos\theta_0$　　(イ)　$2T_0+\mu Mg\cos\theta_0=Mg\sin\theta_0$

(ウ)　$T_0=mg$　　(エ)　$\tan\theta_0-\dfrac{2m}{M}\dfrac{1}{\cos\theta_0}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第５講　解答

1

A：$-\dfrac{7}{17}g$　　B：$\dfrac{5}{17}g$　　C：$-\dfrac{1}{17}g$

2

(1)　$M > 2m(\sin\theta+\mu\cos\theta)$

(2)　$ma_1 = T-mg\sin\theta-\mu' mg\cos\theta$

(3)　$Ma_2 = Mg-2T$

(4)　$a_1 = 2a_2$

(5)　$a_1 = \dfrac{2\{M-2m(\sin\theta+\mu'\cos\theta)\}g}{4m+M}$

3

(1)　$a_x = \dfrac{N}{m}\sin\theta$,　$a_y = \dfrac{N}{m}\cos\theta-g$,　$b_x = -\dfrac{N}{M}\sin\theta$

(2)　(a)　$\dfrac{h-y_1}{x_1-x_2} = \tan\theta$

　　(b)　$N = \dfrac{Mmg\cos\theta}{M+m\sin^2\theta}$,

$a_x = \dfrac{Mg\sin\theta\cos\theta}{M+m\sin^2\theta}$,　$a_y = -\dfrac{(m+M)g\sin^2\theta}{M+m\sin^2\theta}$,　$b_x = -\dfrac{mg\sin\theta\cos\theta}{M+m\sin^2\theta}$

第6講　解答

1

［A］　ア：2.0［N］　　イ：18［N］

［B］　$\dfrac{1}{\sqrt{3}}Mg$

2

問1　(1)　下図（左）　　(2)　$-N_{\mathrm{A}}l\sin\theta+Mg\dfrac{l}{2}\cos\theta=0$

(3)　$N_{\mathrm{B}}=Mg$

問2　$F_{\mathrm{B}}=\dfrac{Mg}{2\tan\theta}$　　問3　$\dfrac{1}{2\mu}\leqq\tan\theta$

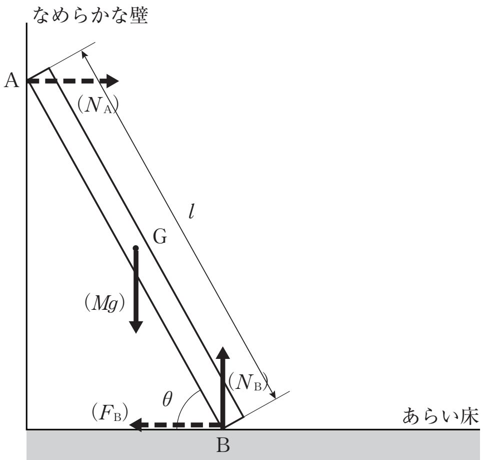
問4

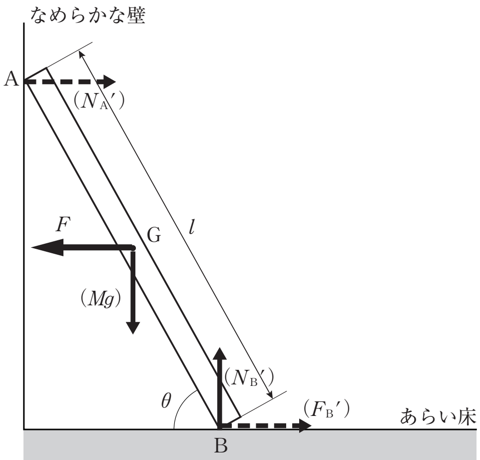
(1)　下図（右），

水平方向　$N_{\mathrm{A}}'+F_{\mathrm{B}}'-F=0$，　　鉛直方向　$-Mg+N_{\mathrm{B}}'=0$，

モーメント　$-N_{\mathrm{A}}'l\sin\theta+F\dfrac{l}{2}\sin\theta+Mg\dfrac{l}{2}\cos\theta=0$

(2)　$F\leqq Mg\left(2\mu+\dfrac{1}{\tan\theta}\right)$





3

(1)　$\dfrac{a}{L\sin\theta}mg$　　(2)　$\dfrac{a}{L\tan\theta}mg$　　(3)　$\dfrac{L-a}{L}mg$　　(4)　$\mu_0 N$

(5)　1　　(6)　$\dfrac{2mg}{\sin\theta}$　　(7)　$\dfrac{2mg}{\tan\theta}$　　(8)　mg

(9)　$\dfrac{2mg}{\sqrt{3}}$　　(10)　(ア)

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第７講　解答

1

（1）　重力がした仕事：$W_g=-mgh\sin\theta$，動摩擦力がした仕事：$W_R=-\mu mgh\cos\theta$，
垂直抗力がした仕事：$W_N=0$

（2）　$\sqrt{\dfrac{2gh\{M-m(\sin\theta+\mu\cos\theta)\}}{m+M}}$

（3）　$\dfrac{\{M-m(\sin\theta+\mu\cos\theta)\}}{(m+M)(\sin\theta+\mu\cos\theta)}h$

2

（1）　ウ　（2）　ア　（3）　ア　（4）　ア

3

（1）　$v_1=\sqrt{2gr+{v_0}^2}$ [m/s]

（2）　$U=\dfrac{mgh}{2}$ [J]

（3）　$F=\mu' mg\cos\theta$ [N]

（4）　$W=-\dfrac{\mu' mgh}{2\tan\theta}$ [J]

（5）　$v_2=\sqrt{{v_1}^2+\dfrac{2W}{m}-2gh}$ [m/s]

（6）　$v_0>\sqrt{2g(h-r)-\dfrac{2W}{m}}$ [m/s]

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第８講　解答

1

A

(1) $\dfrac{V'+v'}{v}$　(2) 1　(3) $mv=MV'-mv'$　(4) $\dfrac{2m}{M+m}v$

B

(5) $\dfrac{m}{M+m}v$　(6) $\dfrac{1}{2}\dfrac{Mm}{M+m}v^2$

C

(7) $-mv$　(8) $F=F'$　(9) MV''　(10) $\dfrac{m}{M}v$

(11) $\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{Mm+m^2}{M}\right)v^2$

2

①　イ　②　エ　③　ク　④　コ　⑤　ス

3

(1)　c　(2)　e　(3)　a

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第９講　解答

1

［A］

（1）mv_0　（2）$\frac{1}{2}mv_0^{\,2}$　（3）$\frac{m}{m+M}v_0$　（4）$v_0\sqrt{\frac{mM}{k(m+M)}}$

（5）$V_{\mathrm{A}}=\frac{m-M}{m+M}v_0$，$V_{\mathrm{B}}=\frac{2m}{m+M}v_0$

［B］

（1）$\frac{m+(-e)^n M}{m+M}v_0$　（2）$\frac{m}{m+M}v_0$

2

（1）$\frac{M}{M+m}v_0$　（2）$-\frac{Mm}{2(M+m)}v_0^{\,2}$

（3）$\frac{M}{2\mu(M+m)g}v_0^{\,2}$　（4）$\frac{M}{\mu(M+m)g}v_0$

（5）$\frac{M^2}{2\mu g(M+m)^2}v_0^{\,2}$

3

（1）$\frac{3}{2}F_0t_1$　（2）$\frac{F_0+mg\sin\theta}{mg\cos\theta}$　（3）$\frac{F_0+mg\sin\theta}{2}$

（4）$-\left\{\frac{1}{2}F_0t_1+\frac{1}{2}mg\sin\theta\cdot(t_0+t_1)\right\}$　（5）$\frac{F_0}{m}t_1+\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot(t_1-t_0)$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 10 講　解答

1

(1) $mg=R\cos\theta$

(2) $mr\omega^2=R\sin\theta$

(3) $l\sin\theta$

(4) $\sqrt{\dfrac{g}{l\cos\theta}}$

(5) $2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\theta}{g}}$

(6) $\dfrac{h}{l}$

(7) $\dfrac{\sqrt{l^2-h^2}}{l}$ $\left(\dfrac{r}{l}\text{でも可}\right)$

(8) $mg=N+R\cos\theta$

(9) $mr\omega^2=R\sin\theta$

(10) $ml\omega^2$

(11) $m(g-h\omega^2)$

(12) 0

(13) $2\pi\sqrt{\dfrac{h}{g}}$

2

(1) ア：$mgl(1-\cos\theta)$　　イ：$\dfrac{1}{2}m{v_0}^2=\dfrac{1}{2}mv^2+mgl(1-\cos\theta)$

ウ：$m\dfrac{v^2}{l}=S-mg\cos\theta$　　エ：$m\dfrac{{v_0}^2}{l}-mg(2-3\cos\theta)$

(2) $v_0>\sqrt{5gl}$

(3) $\sqrt{gl(2-3\cos\alpha)}$

3

④

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 11 講　解答

1

(1)　$ma = -kx + mg\sin\theta$　(2)　角振動数：$\sqrt{\dfrac{k}{m}}$　周期：$2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$

(3)　$\dfrac{mg\sin\theta}{k}$　(4)　$\dfrac{mg\sin\theta}{k}$　(5)　$\dfrac{2mg\sin\theta}{k}$

(6)　$g\sin\theta\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　(7)　$x = \dfrac{mg\sin\theta}{k}\left\{1-\cos\left(\sqrt{\dfrac{k}{m}}\,t\right)\right\}$

2

問１　(1)　$\dfrac{mg}{k}$　(2)　$-\dfrac{(mg)^2}{2k}$

問２　(3)　$\dfrac{3mg}{k}$　(4)　$\dfrac{2mg}{k}$

(5)　$2\pi\sqrt{\dfrac{3m}{k}}$

問３　(6)　$-N+2mg$　(7)　$N+mg-kx$

(8)　0　(9)　$x_0\left(1-\dfrac{kx_0}{6mg}\right)$

(10)　$\dfrac{6mg}{k}$

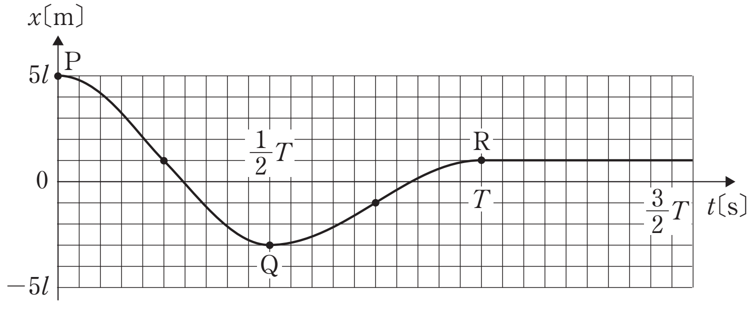
3

問１　(1)　$-8kl^2$　(2)　$-8\mu mgl$　(3)　$\dfrac{kl}{mg}$

問２　(4)　$-k(x-l)$　(5)　l　(6)　$4l\sqrt{\dfrac{k}{m}}$　(7)　$\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$

問３　(8)　$-k(x+l)$　(9)　$-l$

問４　次図



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第12講　解答

1

（1）c　（2）c　（3）$g\tan\theta$

2

問１

（ⅰ）（1）向心力　（2）$m(l+x_0)\omega^2$　（3）遠心力

（4）質量　（5）慣性力

（ⅱ）力のつり合いの式：$0=-kx_0+m(l+x_0)\omega^2$　伸び x_0：$x_0=\dfrac{ml\omega^2}{k-m\omega^2}$

問２

（ⅰ）$k-m\omega^2$　（ⅱ）長い

3

ア　①　イ　③　ウ　③　エ　②　オ　④

カ　⑤

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第13講　解答

1

(1)　エ　　(2)　イ　　(3)　オ　　(4)　ウ　　(5)　イ

2

問１　$\sqrt{gR}$

問２　g

問３　$\dfrac{3}{2}mg$

問４　$\dfrac{15}{8}R$

問５　$0=\dfrac{1}{2}MV^2+\dfrac{1}{2}m(v_x{}^2+v_y{}^2)-\dfrac{1}{2}mgR$

問６　$0=MV+mx_x$

問７　$v_y=\sqrt{3}(v_x-V)$

問８　$v_x=\sqrt{\dfrac{gR}{3\alpha^2+7\alpha+4}}$

問９　$\dfrac{27}{14}R$

問10　$\sqrt{gR}$

3

問１　$\dfrac{1}{2}$

問２　0

問３　$k_\mathrm{A}=\dfrac{3}{2}k$,　$k_\mathrm{B}=3k$

問４　$\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{3k}{2m}}$

問５　$v_0\sqrt{\dfrac{m}{6k}}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 14 講　解答

1

① $G\dfrac{Mm}{R^2}$　② mg　③ $\dfrac{GM}{R^2}$　④ $\dfrac{v^2}{R}$

⑤ $\sqrt{gR}$　⑥ $-G\dfrac{Mm}{R}$　⑦ $\dfrac{1}{2}mv^2+\left\{-G\dfrac{Mm}{R}\right\}$　⑧ $\sqrt{2gR}$

2

(1) $\sqrt{\dfrac{GM}{R_\mathrm{P}}}$

(2) $\dfrac{mV_0-m'V'}{m+m'}$

(3) $\dfrac{1}{2}(m+m')V^2+\left\{-G\dfrac{M(m+m')}{r}\right\}$

(4) $\dfrac{R_\mathrm{P}}{R_\mathrm{E}}$

(5) $\sqrt{\dfrac{2GM}{R_\mathrm{E}+R_\mathrm{P}}\cdot\dfrac{R_\mathrm{E}}{R_\mathrm{P}}}$

(6) 1.4 年後

3

(1) $G=\dfrac{gR^2}{M}$

(2) (a) $\dfrac{mgr}{R}$　(b) $\dfrac{mg}{R}x$

(3) $2\pi\sqrt{\dfrac{R}{g}}$

(4) (a) $\dfrac{mg}{2R}(R^2-h^2)$　(b) $\sqrt{\dfrac{g}{R}(R^2-h^2)}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 15 講　解答

1

（1）（a）$\sqrt{2gr}$　（b）$\dfrac{5}{9}$

（2）（a）$\sqrt{3gr}$　（b）$\dfrac{3\sqrt{3}}{4}r$

（c）$\dfrac{(1-e)m}{2m_1}\sqrt{3gr}$　（d）$(1-e)m$

2

（1）ア　$\dfrac{mV^2}{R}$　イ　$\dfrac{V^2}{gR}$　ウ　$\dfrac{1}{\cos\theta}$

（2）エ　$\dfrac{1}{\cos\theta}$

（3）オ　$d\sin\theta$　カ　$\sqrt{g'd\tan\theta\sin\theta}$　キ　$2\pi\sqrt{\dfrac{d\cos\theta}{g'}}$

（4）ク　$\dfrac{u^2}{2g}$　ケ　$1-\dfrac{1}{2}\tan^2\theta$　コ　1

3

（1）$3mg$

（2）時間：$\dfrac{2\pi}{3}\sqrt{\dfrac{\delta}{g}}$，速さ：$\sqrt{3g\delta}$

（3）$\dfrac{9}{2}\delta$

（4）$2\left\{\dfrac{2\pi}{3}\sqrt{\dfrac{\delta}{g}}+\sqrt{\dfrac{3\delta}{g}}\right\}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第16講　解答

1

［A］

1　②　　2　⑤　　3　②　　4　①　　5　③

［B］

1　⑤　　2　③　　3　④　　4　②　　5　②

［C］

(1)　振幅 0.02［m］，波長 8.0［m］，周期 2.0［s］，振動数 0.5［Hz］，波の速さ 4.0［m/s］

(2)　B

(3)　$2n-1$［s］

2

①　5　　②　0.1　　③　10　　④　20　　⑤　200

⑥　10　　⑦　5　　⑧　10

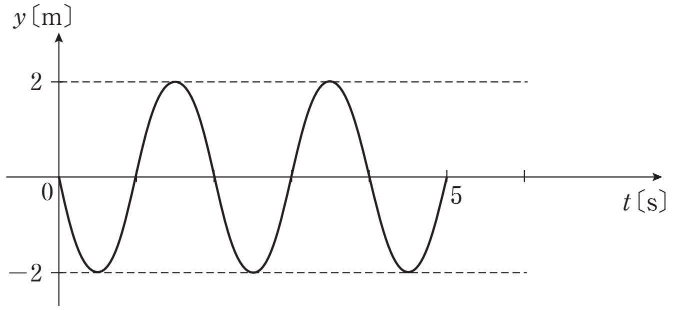
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第17講　解答

1

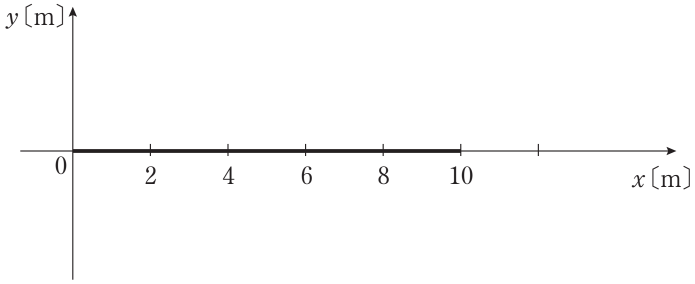
問１　振幅２[m]，波長４[m]，周期２[s]，振動数0.5[Hz]，波の伝わる速さ２[m/s]

問２

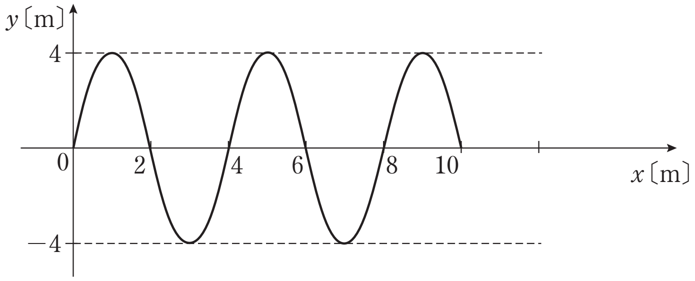


問３

$t=\frac{T}{4}$のとき



$t=\frac{T}{2}$のとき



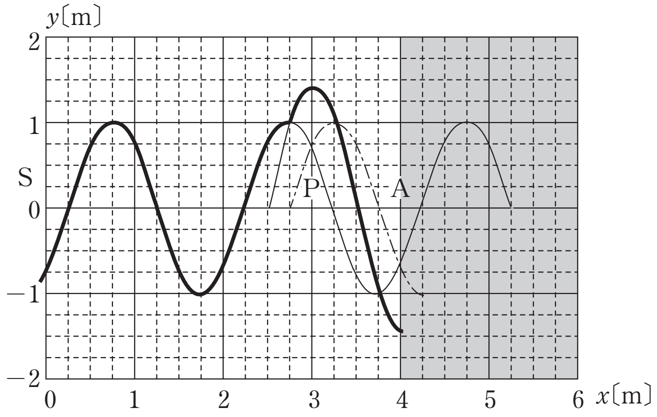
問４　0[m]，2[m]，4[m]，6[m]，8[m]，10[m]

2

［A］

問１　$\lambda=2.00$[m]，$v=5.00$[m/s]　　　問２　次図

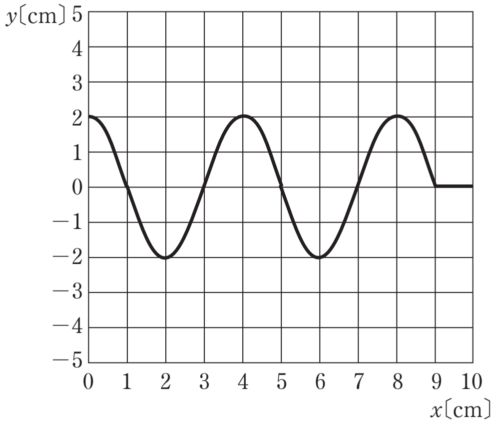
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。



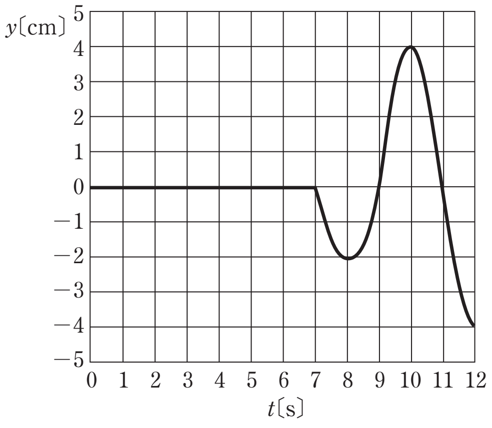
［B］

(1)　振幅 2［cm］，波長 4［cm］，周期 4［s］，波の伝わる速さ 1［cm/s］

(2)



(3)



3

(1)　$\lambda=\dfrac{v}{f}$

(2)　①　$t_1=\dfrac{s}{v}$　　②　$y_{\mathrm{I}}=A\sin(2\pi f(t-t_1))$

(3)　①　$t_2=\dfrac{2L-s}{v}$　　②　$y_{\mathrm{II}}=A\sin(2\pi f(t-t_2))$

(4)　$y=2A\sin\left(2\pi f\left(t-\dfrac{L}{v}\right)\right)\cos\left(2\pi f\left(\dfrac{L-s}{v}\right)\right)$

(5)　①　$2A$　　②　$\dfrac{v}{2f}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第18講　解答

1

(1)〔13〕　(2)〔13〕　(3)〔17〕　(4)〔26〕　(5)〔25〕

(6)〔29〕　(7)〔19〕　(8)〔23〕　(9)〔19〕　(10)〔27〕

2

(1) 90　(2) 干渉　(3) $m\lambda+\dfrac{\lambda}{2}$　(4) 9.0　(5) 1.5

(6) 4　(7) 3.5　(8) 2

3

(ア) $\dfrac{\lambda}{\sin\theta}$　(イ) $\dfrac{\lambda}{\cos\theta}$　(ウ) $\dfrac{\lambda}{T}$　(エ) $\dfrac{\lambda}{T\sin\theta}$

(オ) $\dfrac{\lambda}{T\cos\theta}$　(カ) $\theta=\theta'$　(キ) $2a$　(ク) $\dfrac{\lambda}{\cos\theta}$

(ケ) $\dfrac{\lambda}{2\cos\theta}$　(コ) 0　(サ) $\dfrac{\lambda}{4\cos\theta}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第19講　解答

1

ア　③　　イ　⑥　　ウ　⑦　　エ　③　　オ　⑧

カ　②　　キ　②　　ク　①と④

b：$\dfrac{v}{2L}n$

2

(1)　ア　　(2)　イ　　(3)　イ　　(4)　$2l$　　(5)　$2lf$

(6)　l　　(7)　$2f$　　(8)　$\dfrac{1}{4}l$　　(9)　$\dfrac{3}{4}l$　　(10)　$\dfrac{10}{3}f$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第20講　解答

1

（1）（ア）$f_r - f_d$

（2）（イ）$\dfrac{V+v}{V}f_0$　　（ウ）$\dfrac{V}{V-v}f_1$

（エ）$\dfrac{V+v}{V-v}f_0$　　（オ）f_0

（カ）$\dfrac{2v}{V-v}f_0$

（3）（キ）$V+w$　　（ク）$V-w$

（ケ）$\dfrac{(V+w)+v}{V+w}f_0$　　（コ）$\dfrac{V-w}{(V-w)-v}f_1{}'$

（サ）$\dfrac{(V-w)(V+w+v)}{(V-w-v)(V+w)}f_0$　　（シ）f_0

（ス）$\dfrac{2vV}{(V-w-v)(V+w)}f_0$

2

問1　$\tan\theta = \dfrac{l}{l-vT}$　　問2　$\dfrac{c}{c-v\cos\theta}f$

問3　$\dfrac{c}{f}$　　問4　220 [m/s]

3

ア　$\dfrac{l}{V}$　　イ　$u\Delta t$

ウ　$l-u\Delta t$　　エ　$\Delta t+\dfrac{l-u\Delta t}{V}$

オ　$\dfrac{V}{V-u}f$　　カ　$\dfrac{V}{V+u}f$

キ　$\sqrt{L^2+a^2}$　　ク　$\dfrac{\sqrt{L^2+a^2}}{V}$

ケ　$\sqrt{L^2+a^2}-u\Delta t\cos\theta$　　コ　$\Delta t+\dfrac{\sqrt{L^2+a^2}-u\Delta t\cos\theta}{V}$

サ　$\dfrac{V}{V-u\cos\theta}f$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第21講　解答

1

（1）$\sin\theta_2 = n\sin\theta_1$

（2）$\dfrac{h}{n}$

（3）ア：臨界角　イ：全反射　ウ：$\dfrac{1}{n}$　エ：$\sqrt{r^2+h^2}$　オ：$\dfrac{h}{\sqrt{n^2-1}}$

2

① (ウ)　② $\dfrac{n_B}{n_A}\sin\gamma$　③ $n_A\cos\beta$　④ 臨界角

⑤ $\dfrac{n_B}{n_A}$　⑥ $\sqrt{{n_A}^2-{n_B}^2}$　⑦ $\sqrt{{n_A}^2-{n_B}^2}\geqq 1$　⑧ (ア)

3

（1）$n\sin\theta_2 = \sin\theta_1$

（2）赤

（3）$\theta_5=\theta_2$，$\theta_6=\theta_1$

（4）$4\theta_2-2\theta_1$

（5）赤

（6）エ

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 22 講　解答

1

ア　①	イ　⑨	ウ　⑤	エ　④	オ　①
カ　⑤	キ　⑤	ク　①	ケ　④	コ　⑧
サ　⑤				

2

(1)　$p > f_1$　　(2)　$\dfrac{1}{p}+\dfrac{1}{l-q}=\dfrac{1}{f_1}$　　(3)　$q < f_2$

(4)　$\dfrac{1}{q}-\dfrac{1}{d-f_2}=\dfrac{1}{f_2}$　　(5)　$q=40$ [mm]，$l=160$ [mm]　　(6)　25 倍

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 23 講　解答

1

(1) $\dfrac{dx}{L}=m\lambda$　(2) $\dfrac{\lambda L}{d}$　(3) 図の上方に $\dfrac{La(n-1)}{d}$　(4) $\dfrac{\lambda}{n-1}$

2

(1) ④　(2) ⑨　(3) ⑤　(4) ②　(5) ⑥　(6) ③

3

(1) あ：$\sin i=n\sin r$，い：$\sin i$，う：$n\sin r$，え：$2nd\cos r$

(2) お：$2nd\cos r=m\lambda-\dfrac{\lambda}{2}$

(3) か：2.0×10^{-7}　(4) き：2

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第24講　解答

1

問1　d と λ の関係　$2d=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$　($m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots$),

x と λ の関係　$2x\frac{t}{l}=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$　($m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots$)

問2　$D=\frac{\lambda l}{2t}$

問3　$t=1.5\times10^{-5}$ [m]

問4　$D'=1.5\times10^{-3}$ [m]

問5　d' と λ の関係　$2d'=\frac{\lambda}{1.3}m$　($m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots$)

$x'=\frac{l\lambda}{2.6t}m$　($m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots$)

2

イ　f　　ロ　c　　ハ　b　　ニ　d

ホ　a　　へ　d　　ト　b

3

問1　$n_2=n_1\frac{\sin r}{\sin i}$

問2　$n_2=\frac{1}{\sin i_C}$

問3　$n_1=\sqrt{\frac{4D^2}{L^2}+1}$

問4　(ニ)

問5　$d|\sin i-\sin\theta|$

問6　$d|\sin i-\sin\theta|=N\lambda$

問7　④

問8　$d=1.6\times10^{-6}$ [m]

問9　正の方向：⑤，負の方向：①，②，③

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 25 講　解答

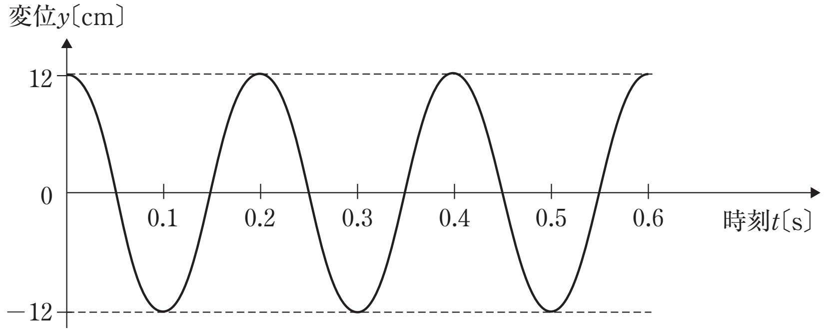
1

㈠ 0.2　㈡ 40　㈢ 200　㈣ 下図　㈤ 30

㈥ 24　㈦ 0　㈧ $\dfrac{x}{v}$　㈨ $t-\dfrac{x}{v}$　㈩ $t-\dfrac{x}{v}$

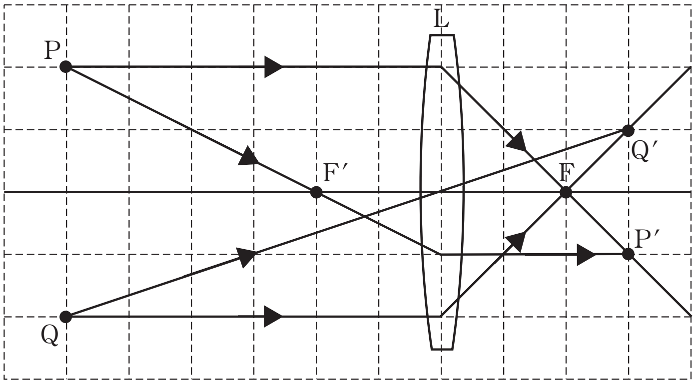
(サ) $\dfrac{t}{T}-\dfrac{x}{\lambda}$　(シ) $\dfrac{t}{T}+\dfrac{x}{\lambda}$

㈣の解答



2

(1) 次図　(2) $b=\dfrac{af}{a-f}$



(3) $h'=\dfrac{hf}{a-f}$　(4) $b=60$ [mm]，$h'=6$ [mm]

(5) $c=51$ [mm]　(6) 2550 [mm] 以上

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

(a)　①　$\dfrac{\lambda}{n}$　　②　$d\sin\theta_n$

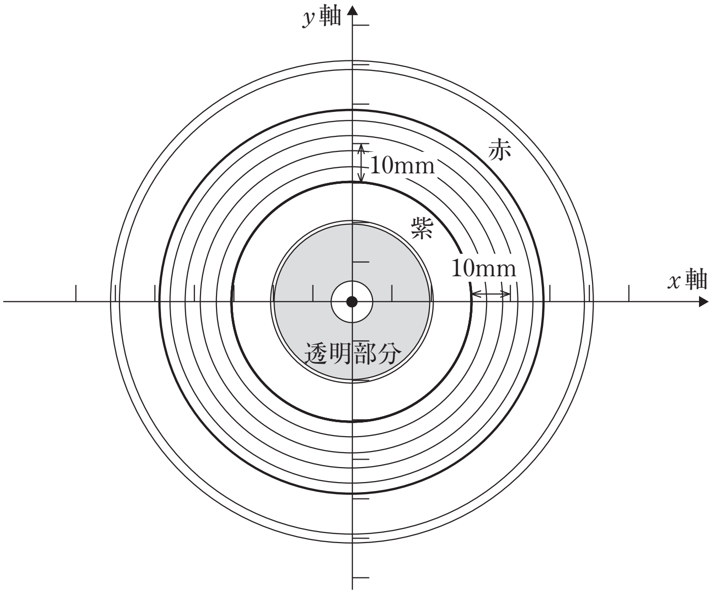
③　$n\sin\theta_n = \sin\theta$　　④　$m\lambda$

(b)　理由　屈折の法則をみたす θ が存在しなくなり，透明基板と空気の境界面で全反射するから。，関係式　$\sin\theta_n > \dfrac{1}{n}$

(c)　1.6μm

(d)　$\dfrac{d\sqrt{x^2+y^2}}{z} = m\lambda$

(e)　次図



図中の x 軸，y 軸の目盛りは10mmとする。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

確認テスト解答

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第1講　確認テスト

【解答】

1	カ	2	エ	3	キ	4	ア	5	オ
6	イ	7	イ	8	ウ	9	ケ	10	エ

【解説】

表より，$t=0 \sim 8$ では加速度 10 [m/s^2]（一定）で加速し，

$t=8 \sim 10$ では $v=100$ [m/s] で一定，それ以後は加速度 -20 [m/s^2] で減速し，

$t=15$ で $v=0$ [m/s] となる。よって v のグラフは(カ)$_{_1}$

また，加速度の様子は(キ)$_{_3}$ のグラフ。

なお，加速度の意味は**単位時間あたりの速度の変化**$_{_2}$

$t=0$ [s] から $t=8_{_4}$ [s] では，**正の向きで大きさ 10 [m/s^2] の等加速度の**$_{_5}$ 運動をし，その位置は

$$x=20\cdot t+\frac{10}{2}t^2=\mathbf{20t+5t^2}{}_{_6}$$

$t=10$ までに進んだ距離は，

$$x=\underbrace{20\times 8+5\times 8^2}_{t=0\sim 8\text{ で進んだ分}}+\underbrace{100\times 2}_{t=8\sim 10\text{ で進んだ分}}=\mathbf{680}{}_{_7}\ [\mathrm{m}]$$

$t=10$ [s] から $t=15$ [s] では，**負の向きで大きさ 20 [m/s^2] の等加速度の**$_{_8}$ 運動をし，この間の A の位置は

$$x=\underbrace{680}_{t=10\text{ での位置}}+\underbrace{100(t-10)+\frac{1}{2}(-20)(t-10)^2}_{t=10\sim t\text{ で進んだ距離}}$$

$$=\mathbf{-1320+300t-10t^2}{}_{_9}$$

以上から，A の運動の様子は(エ)$_{_10}$ のグラフ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第2講　確認テスト

【解答】

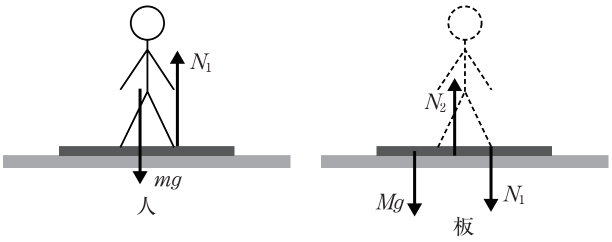
(1)　⑤	(2)　②	(3)　③	(4)　①	(5)　③	(6)　①
(7)　④	(8)　⑤	(9)　⑤	(10)　②	(11)　⑥	(12)　③

(4)(5)，(6)(7)(8)は各々順序は問わない。

【解説】

問1

かかる力は図の様になる。



(1)　$W=-\boldsymbol{mg}$

(2)　人について，力のつりあい

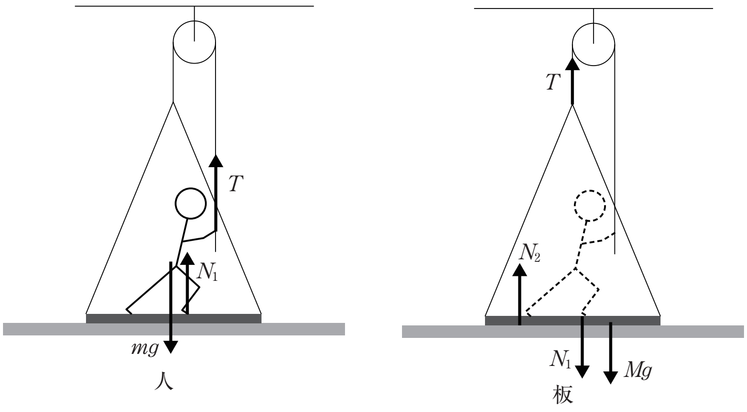
$0=N_1-mg$　　∴　$N_1=\boldsymbol{mg}$

(3)　板について力のつりあい

$0=N_2-N_1-Mg$　　∴　$N_2=(\boldsymbol{m}+\boldsymbol{M})\boldsymbol{g}$

問2

かかる力は図の様になる。



人について，力のつりあい

$\boldsymbol{T}+\boldsymbol{N_1}-mg=0$ ＿(4)，(5)　――Ⓐ

板について力のつりあい

$\boldsymbol{T}+\boldsymbol{N_2}+(-\boldsymbol{N_1})-Mg=0$ ＿(6)，(7)，(8)　――Ⓑ

Ⓐより

$N_1=(-\boldsymbol{T})$ ＿(9) $+\boldsymbol{mg}$ ＿(10)

これをⒷへ代入して

$N_2=N_1+Mg-T=(-2\boldsymbol{T})$ ＿(11) $+(\boldsymbol{m}+\boldsymbol{M})\boldsymbol{g}$ ＿(12)

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第３講　確認テスト

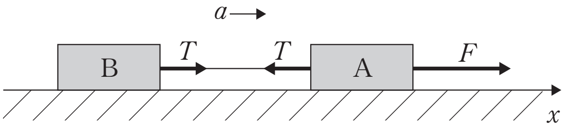
【解答】

1　③　　2　④　　3　①　　4　④　　5　④

6　⑧　　7　⑧

【解説】

(1)　物体にかかる，水平方向の力は図の様になる。運動方程式は



$$\begin{cases} \text{A}：M_1a=\boldsymbol{F}-\boldsymbol{T} & _1 \\ \text{B}：M_2a=\boldsymbol{T} & _2 \end{cases}$$

和をとると，

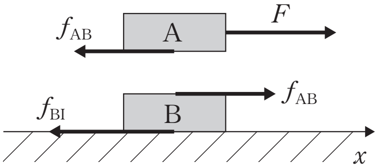
$$(M_1+M_2)a=F \qquad \therefore\ a=\frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{M_1}+\boldsymbol{M_2}}\ _3$$

Ｂの式へ代入して，

$$T=\frac{\boldsymbol{M_2F}}{\boldsymbol{M_1}+\boldsymbol{M_2}}\ _4$$

(2)　物体にかかる，水平方向の力は図の様になる。

運動方程式は



$$\begin{cases} \text{A}：M_1a_1=\boldsymbol{F}-\boldsymbol{f_{AB}} & _5 \\ \text{B}：M_2a_2=\boldsymbol{f_{AB}}-\boldsymbol{f_{BI}} & _6 \end{cases}$$

Ａ，Ｂが一体となって運動するとき，$a_1=a_2=a$ ゆえ，上の２式の和をとると，

$$(M_1+M_2)a=F-f_{BI}$$

動摩擦力は

$$f_{BI}=\frac{\mu}{2}\times(M_1+M_2)g=\frac{1}{2}\mu(M_1+M_2)g$$

となるので，代入して

$$a=\frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{M_1}+\boldsymbol{M_2}}-\frac{\boldsymbol{\mu g}}{\boldsymbol{2}}\ _7$$

を得る。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第４講　確認テスト

【解答】

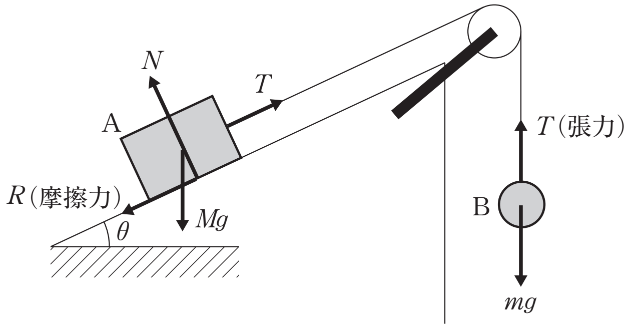
(1)　⑤　　(2)　ア：③　イ：④　　(3)　⑤

【解説】

力のつりあい

A $\begin{cases} T = R + Mg\sin\theta & \text{——Ⅰ} \\ N = Mg\cos\theta & \text{——Ⅱ} \end{cases}$

B：$T = mg$ ——Ⅲ



(1)　ⅠⅢから T を消去

$$\boldsymbol{R = mg - Mg\sin\theta} \quad \text{——Ⅳ}$$

(2)　すべらない条件は

$$|R| \leqq \mu N$$

ⅡとⅣを代入して

$$|mg - Mg\sin\theta| \leqq \mu Mg\cos\theta$$

$$-\mu Mg\cos\theta \leqq mg - Mg\sin\theta \leqq \mu Mg\cos\theta$$

$$\therefore \quad \underline{\boldsymbol{M(\sin\theta - \mu\cos\theta)}}_{ア} \leqq m \leqq \underline{\boldsymbol{M(\sin\theta + \mu\cos\theta)}}_{イ}$$

(3)　運動方程式は

$$\begin{cases} \text{A}：Ma = T' - Mg\sin\theta - \mu' Mg\cos\theta \\ \text{B}：ma = mg - T' \end{cases}$$

和をとって，加速度 a は

$$a = \boldsymbol{\frac{m - M\sin\theta - \mu' M\cos\theta}{m + M}g}$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第５講　確認テスト

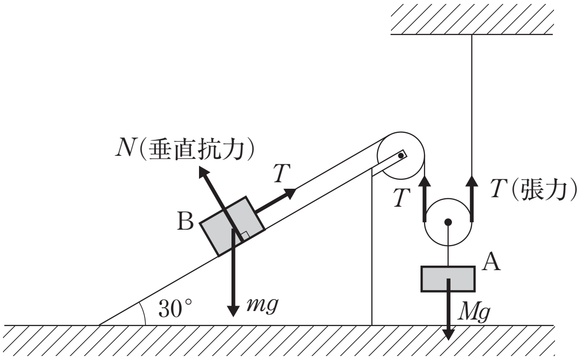
【解答】

a　③,　　b　④

あ　②,　　い　④,　　う　⑤,　　え　②,　　お　⑧

【解説】

かかる力は図の様になる。



あ　力のつりあい

A：$2T = Mg$

B：$T = mg\sin 30°$

より T を消去して，

$$\frac{Mg}{2} = \frac{\boldsymbol{mg}}{\boldsymbol{2}}$$

a　**1**（倍）

b　Aが h だけ下降すると，糸を $2h$ だけ引き込むことになるので，Bは $2h$ だけ斜面を上がる。

い　Aの運動方程式は

$$Ma = \boldsymbol{Mg - 2F}$$

う　Bの運動方程式は

$$m\cdot(2a) = F - mg\sin 30°$$

$$2\times ma = \boldsymbol{F - \frac{1}{2}mg}$$

↑ b

え　上の２式を連立させて

$$\begin{cases} Ma = Mg - 2F & \text{——Ⓐ} \\ 2ma = F - \dfrac{1}{2}mg & \text{——Ⓑ} \end{cases}$$

Ⓐ＋Ⓑ×２より

$$a = \frac{\boldsymbol{M - m}}{\boldsymbol{M + 4m}}\cdot g$$

お　Ⓐ×$2m$－Ⓑ×M より

$$F = \frac{\boldsymbol{5m}}{\boldsymbol{2(M + 4m)}}\cdot Mg$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第6講　確認テスト

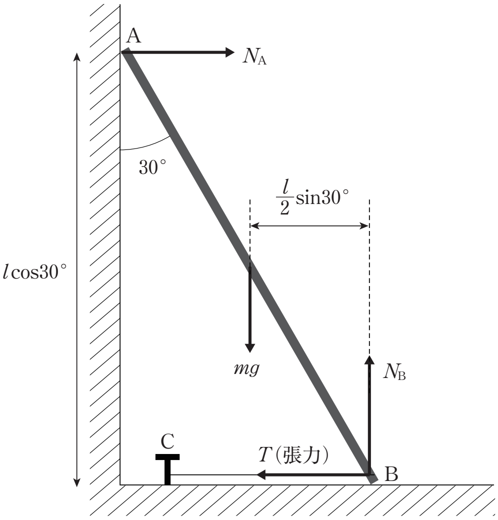
【解答】

1 ⑤,　2 ①,　3 ①,　4 ⑤,　5 ①
6 ②,　7 ⑧

【解説】

N_A と mg の腕の長さは図の様になるので，
点Bのまわりの力のモーメントのつりあいは

$$-N_A\times\underline{\frac{\sqrt{3}}{2}l}_{〔1〕}+mg\times\underline{\frac{l}{4}}_{〔2〕}=0$$



よって，

$$N_A=\underline{\frac{\sqrt{3}}{6}mg}_{〔3〕}$$

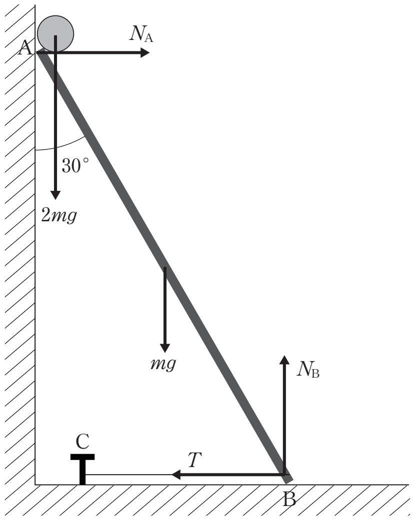
力のつりあいを考えると，

$$\begin{cases}N_B=mg\\N_A=T\end{cases}\quad\therefore\quad N_B=\underline{mg}_{〔4〕},\quad T=\underline{\frac{\sqrt{3}}{6}mg}_{〔5〕}$$

A点に質量 $2m$ [kg] の人が乗ったとして，
B点まわりの力のモーメントのつりあいは，

$$-\frac{\sqrt{3}}{2}l\cdot N_A+mg\cdot\frac{l}{4}+2mg\cdot\frac{l}{2}=0$$

$$\therefore\quad N_A=\frac{5}{2\sqrt{3}}mg=\frac{5\sqrt{3}}{6}mg$$



また，力のつりあいから，

$$\begin{cases}T=N_A\\2mg+mg=N_B\end{cases}$$

よって

$$T=\underline{\frac{5\sqrt{3}}{6}mg}_{〔6〕}$$

$$N_B=\underline{3mg}_{〔7〕}$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第７講　確認テスト

【解答】

問１　①　　問２　③　　問３　⑥　　問４　②　　問５　③

【解説】

問１

フックの法則より，$\boldsymbol{kl}$

問２

弾性力のエネルギーは　$\boldsymbol{\frac{1}{2}kl^2}$

問３

力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}kl^2=\frac{1}{2}mv^2 \qquad \therefore \quad v=\boldsymbol{l\sqrt{\frac{k}{m}}}$$

問４

求めるべき速さを V として，力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mV^2+mgh \qquad \therefore \quad V=\boldsymbol{\sqrt{v^2-2gh}}$$

問５

求めるべき高さを H として，力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv^2=mgH \qquad \therefore \quad H=\boldsymbol{\frac{v^2}{2g}}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第８講　確認テスト

【解答】

(1)　②　(2)　①　(3)　④　(4)　⑥　(5)　③

【解説】

(1)　力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv_1{}^2 = mgh_1 \quad ――①\qquad \therefore\ v_1 = \boldsymbol{\sqrt{2gh_1}}$$

(2)　衝突後の速さを v_2 として，力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv_2{}^2 = mgh_2 \quad ――②$$

② ÷ ①より，

$$\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = \frac{h_2}{h_1} \qquad \therefore\ e = \frac{v_2}{v_1} = \boldsymbol{\sqrt{\frac{h_2}{h_1}}}$$

(3)　運動量と力積の関係から，求めるべき力積を I として，

$$mv_1 + I = m(-v_2) \qquad \therefore\ |I| = m|-v_2 - v_1| = \boldsymbol{m\left(\sqrt{2gh_1} + \sqrt{2gh_2}\right)}$$

(4)　衝突した直後の小球の速度を v，物体の速度を V（ともに図の左向きを正）として

運動量保存則とはね返り係数の式は

$$mv_1 = mv + MV \quad ――③ \qquad -e(v_1 - 0) = v - V \quad ――④$$

③ ＋ ④ ×M より，

$$v = \frac{m-eM}{m+M}v_1 = \boldsymbol{\frac{m-eM}{m+M}\sqrt{2gh_1}}$$

(5)　力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh_3$$

$$\therefore\ h_3 = \frac{v^2}{2g} = \boldsymbol{\left(\frac{m-eM}{m+M}\right)^2 h_1}$$

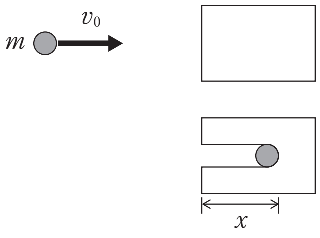
第9講　確認テスト

【解答】

1　④　　2　⑦　　3　①　　4　⑥　　5　⑦

【解説】

(1)　エネルギーと仕事の関係より



$$\frac{1}{2}mv_0{}^2 = F\cdot x \qquad \therefore\quad F = \boldsymbol{\frac{mv_0{}^2}{2x}}$$

(2)　ちょうど貫いたとすると，

$$\frac{1}{2}mv^2 = F\cdot l$$

Fを代入して，

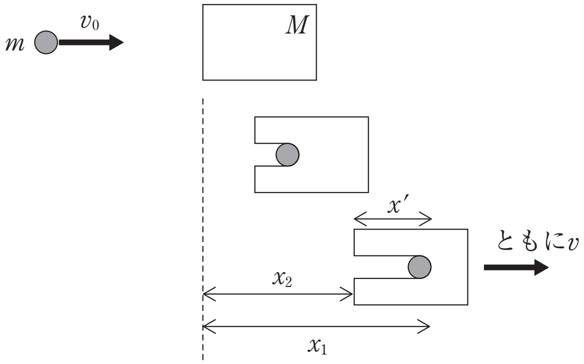
$$v'^2 = \frac{2}{m}\left(\frac{mv_0{}^2}{2x}\right)l = v_0{}^2\frac{l}{x} \qquad \therefore\quad v' = \boldsymbol{v_0\sqrt{\frac{l}{x}}}$$

(3)　運動量保存則より

$$mv_0 = (m+M)v \qquad \therefore\quad v = \boldsymbol{\frac{mv_0}{m+M}}$$

(4)(5)

両者が接触し始めてから，ともにvとなるまでに動いた距離をx_1，x_2として（右図），エネルギーと仕事の関係から，



$$\begin{cases} 弾丸：\dfrac{1}{2}mv_0{}^2 - F\cdot x_1 = \dfrac{1}{2}mv^2 \\ 木片：0 + F\cdot x_2 = \dfrac{1}{2}Mv^2 \end{cases}$$

和をとると

$$\frac{1}{2}mv_0{}^2 - F(x_1 - x_2) = \frac{1}{2}(m+M)v^2$$

よって，失われたエネルギーは

$$F(x_1 - x_2) = \frac{1}{2}mv_0{}^2 - \frac{1}{2}(m+M)v^2 = \boldsymbol{\frac{mMv_0{}^2}{2(m+M)}} \quad \text{―(5)}$$

また，$x' = x_1 - x_2$だから，

$$F\cdot x' = \frac{mMv_0{}^2}{2(m+M)}$$

$$\therefore\quad x' = \frac{mMv_0{}^2}{2(m+M)}\cdot\frac{1}{F} = \frac{mMv_0{}^2}{2(m+M)}\cdot\frac{2x}{mv_0{}^2} = \boldsymbol{\frac{M}{m+M}x} \quad \text{―(4)}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 10 講　確認テスト

【解答】

問１　(オ)　問２　(ウ)　問３　(ウ)　問４　(ア)　問５　(カ)　問６　(ウ)

【解説】

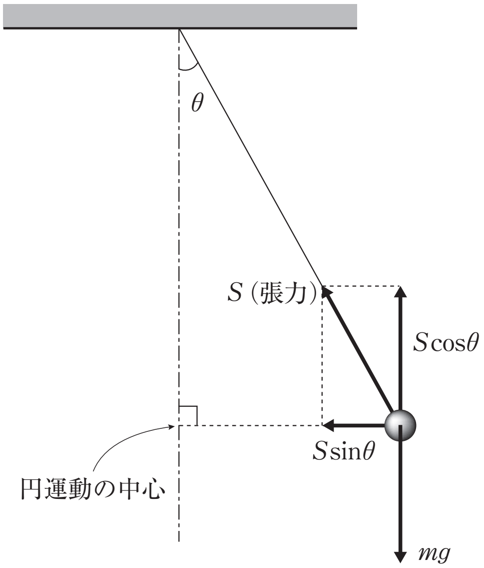
問１

鉛直方向は力がつりあう。

$\therefore\ S\cos\theta = mg$ ――①　　$\therefore\ S = \dfrac{\boldsymbol{mg}}{\boldsymbol{\cos\theta}}$ [N]

問２

等速円運動の中心へ向かう向き



問３

図より　$S\sin\theta = \boldsymbol{mg\tan\theta}$ [N]

問４

図より，$r = \boldsymbol{l\sin\theta}$ [m]

問５

水平方向について，円運動の方程式より

$mr\omega^2 = mg\tan\theta$

$\therefore\ \omega = \sqrt{\dfrac{\boldsymbol{g\tan\theta}}{\boldsymbol{r}}}$ [rad/s]

問６

$T = \dfrac{2\pi}{\omega} = \boldsymbol{2\pi}\sqrt{\dfrac{\boldsymbol{r}}{\boldsymbol{g\tan\theta}}}$ [s]

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第11講　確認テスト

【解答】

1　②　　2　⑧　　3　④　　4　③　　5　③
6　④　　7　⑤　　8　⑥

【解説】

(1)

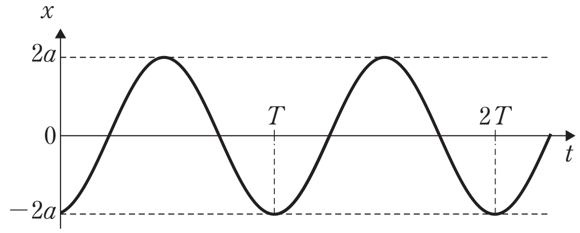
$\boxed{1}$　力のつりあいより

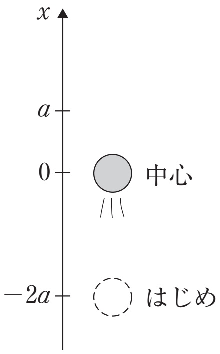
$$ka = Mg \qquad \therefore\ a = \boldsymbol{\frac{Mg}{k}}$$

$\boxed{2}$　質量 M, ばね定数 k ゆえ,

$$T = \boldsymbol{2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}}$$

$\boxed{3}$　運動の様子は右図。よってグラフは下の様になる。





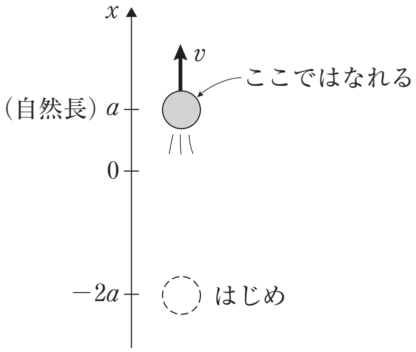
(2)

$\boxed{4}$　自然長の位置に届かなければよい。よって, $b < a = \boldsymbol{\frac{Mg}{k}}$

$\boxed{5}$　単振動のエネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}k(-2a)^2 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}ka^2$$

$$\therefore\ \frac{1}{2}Mv^2 = \frac{3}{2}ka^2 = \boldsymbol{\frac{3M^2g^2}{2k}}$$



$\boxed{6}$　$\boxed{5}$ より, はなれるときの速さは

$$v = \sqrt{\frac{3Mg^2}{k}}$$

なので,

$$0 = \sqrt{\frac{3Mg^2}{k}} - gt \qquad \therefore\ t = \boldsymbol{\sqrt{\frac{3M}{k}}}\ \text{で止まる。}$$

$\boxed{7}$　皿をはなれてから, さらに上がった分を h として

$$0^2 - v^2 = 2(-g)h \qquad \therefore\ h = \frac{v^2}{2g} = \frac{3Mg}{2k}$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

よって，最高点の x 座標は

$$x = a + h = \boldsymbol{\frac{5Mg}{2k}}$$

8　3 も考慮して，時刻 t での位置は

$$x = -2a\cos\omega t \quad \left(\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}\right)$$

と書ける。はなれるのは，$x=a$ に初めてつくときだから，

$$a = -2a\cos\omega t \qquad \cos\omega t = \frac{-1}{2}$$

$$\therefore\quad \omega t = \frac{2\pi}{3} \text{ で } t = \boldsymbol{\frac{2\pi}{3}\sqrt{\frac{M}{k}}} \text{ のとき。}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第12講　確認テスト

【解答】

1　⑤　　2　①　　3　⑧　　4　③

【解説】

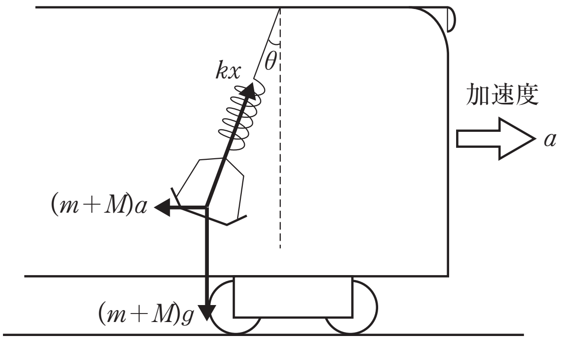
［A］

フリーフォール中では，自由落下している間に質量 m の物体をみるとき，慣性力の大きさは mg となる。＿1

［B］

車内で見たときの，BC の力のつりあいは，ばねののびを x として

$$\begin{cases}(m+M)a=kx\sin\theta & \text{——Ⓐ}\\ (m+M)g=kx\cos\theta & \text{——Ⓑ}\end{cases}$$



問1

Ⓐ÷Ⓑより，

$a=\boldsymbol{g\tan\theta}$＿2

問2

$Ⓐ^2+Ⓑ^2$ と，$\cos^2\theta+\sin^2\theta=1$ より，

$$(m+M)^2(a^2+g^2)=k^2x^2$$

$a=g\tan\theta$ を代入して，

$$x=\boldsymbol{\frac{(m+M)g}{k}\sqrt{1+\tan^2\theta}}$$＿3

問3

単振動の周期は，質量とばね定数で決まるので，

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m+M}{k}}$$＿4

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 13 講　確認テスト

【解答】

1　⑦　　2　④　　3　⑧　　4　④　　5　⑧

【解説】

問１

(1)　$t=0$ における，A，B の速度を V_A，V_B として，

$$\begin{cases} \text{運動量保存則}：0=mV_A+MV_B \\ \text{エネルギー保存則}：\frac{1}{2}kd^2=\frac{1}{2}mV_A{}^2+\frac{1}{2}MV_B{}^2 \end{cases}$$

連立して，

$$V_A=\boldsymbol{d\sqrt{\frac{kM}{m(m+M)}}}\ _{(1)}$$

(2)　重心の位置は不変となるから，

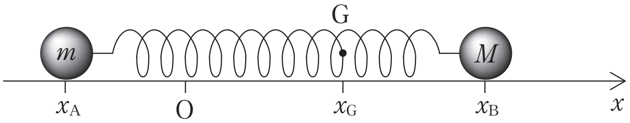
$$\frac{m\cdot 0+M\cdot L}{m+M}=\frac{mx_A+Mx_B}{m+M}\qquad \therefore\ x_B=\boldsymbol{L-\frac{m}{M}x_A}\ _{(2)}$$

(3)　A が受ける力は，向きも含めて

$$k\{(x_B-x_A)-L\}=k\left(L-\frac{m}{M}x_A-x_A-L\right)=-\frac{k(m+M)}{M}x_A$$

となり，A の運動方程式は

$$ma_A=-\frac{k(m+M)}{M}x_A\qquad \text{よって}\quad T=\boldsymbol{2\pi\sqrt{\frac{mM}{k(m+M)}}}\ _{(3)}$$



問２

(4)　衝突の前後で，ばねは気にしなくてよい。衝突直後の A と C の速度を v_A，v_C として

$$\begin{cases} \text{運動量保存則}：\frac{m}{2}u=\frac{m}{2}v_C+mv_A \\ \text{はね返り係数が１}：-(u-0)=v_C-v_A \end{cases}$$

２式より，

$$v_C=\boldsymbol{-\frac{1}{3}u}\ _{(4)}\quad ,\quad v_A=\frac{2}{3}u$$

(5)

$$v_A=\frac{m\cdot\left(\frac{2}{3}u\right)+M\cdot 0}{m+M}=\boldsymbol{\frac{2m}{3(m+M)}u}\ _{(5)}$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第14講　確認テスト

【解答】

1　⑧	2　⑧	3　⑥	4　①	5　④
6　⑥	7　⑦	8　⑤	9　⑤	

【解説】

(1)　周期がTゆえ，宇宙船の速さ v_0 は

$$T=\frac{2\pi R}{v_0}\qquad \therefore\ v_0=\boldsymbol{\frac{2\pi R}{T}}\ _1$$

向心力 f は，円運動の方程式を考えると，

$$m\frac{{v_0}^2}{R}=f\qquad \therefore\ f=\frac{m}{R}\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2=\boldsymbol{\frac{4\pi^2 mR}{T^2}}\ _2$$

万有引力の大きさは，

$$\boldsymbol{G\frac{mM}{R^2}}\ _3$$

なので，

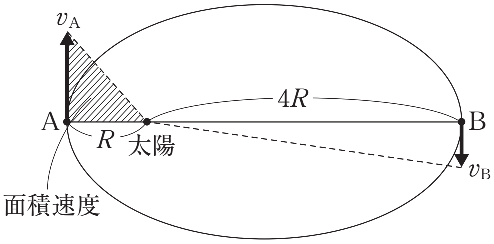
$$G\frac{mM}{R^2}=\frac{4\pi^2 mR}{T^2}\qquad \therefore\ \frac{R^3}{T^2}=\boldsymbol{\frac{GM}{4\pi^2}}\ _4$$

となり，M は，

$$M=\boldsymbol{\frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}}\ _5$$

(2)　点Aにおける面積速度は右図の斜線部。

$$\therefore\ \boldsymbol{\frac{1}{2}Rv_A}\ _6$$



ケプラーの第2法則より

$$\frac{1}{2}Rv_A=\frac{1}{2}(4R)v_B\qquad \therefore\ \frac{v_A}{v_B}=\boldsymbol{4}\ _7$$

力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}m{v_A}^2+\left(-G\frac{Mm}{R}\right)=\frac{1}{2}m{v_B}^2+\left(-G\frac{Mm}{4R}\right)$$

これと $\frac{v_A}{v_B}=4$ より，

$$v_A=\boldsymbol{\sqrt{\frac{8}{5}}}\times\sqrt{\frac{GM}{R}}\ _8$$

(3)　エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}m{v_A}^2+\left(-G\frac{Mm}{R}\right)=\frac{1}{2}m{v_\infty}^2$$

条件は，$v_\infty\geqq 0$

$$\therefore\ \frac{1}{2}m{v_A}^2-G\frac{Mm}{R}\geqq 0\qquad \therefore\ v_A\geqq\boldsymbol{\sqrt{2}}\times\sqrt{\frac{GM}{R}}$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第15講　確認テスト

【解答】

ア　③　　イ　⑥　　ウ　③　　エ　③

オ　③　　カ　⑧　　キ　①　　ク　⑦

【解説】

運動量保存則：$m_1v_1 = m_1v_1' + m_2v_2$ とはね返り係数の式：$-(v_1-0) = v_1' - v_2$ より，

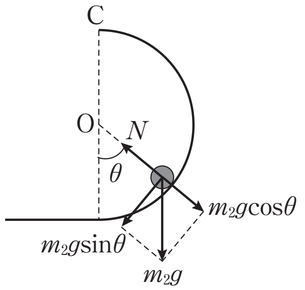
$$v_2 = \frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1 \quad \text{_ア}$$

円軌道上の角 θ の位置において，エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_2v_2'^2 + m_2gr(1-\cos\theta) \qquad \therefore \quad v_2' = \sqrt{v_2^2 - 2gr(1-\cos\theta)} \quad \text{_イ}$$

円運動の方程式は，

$$m_2\frac{v_2'^2}{r} = N - m_2g\cos\theta \qquad \therefore \quad N = m_2\frac{v_2'^2}{r} \text{_ウ} + m_2g\cos\theta \text{_エ}$$



点Cにおける円運動の方程式より

$$m_2\frac{v_{2C}^2}{r} = N + m_2g \qquad \therefore \quad N = m_2\frac{v_{2C}^2}{r} - m_2g$$

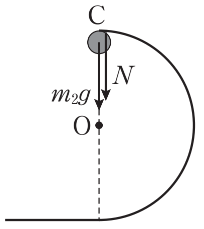
$N \geqq 0$ のためには，

$$m_2\frac{v_{2C}^2}{r} - m_2g \geqq 0 \qquad \therefore \quad v_{2C} \geqq \sqrt{gr} \quad \text{_オ}$$

他方，v_{2C} は，エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_2v_{2C}^2 + mg \cdot 2r$$

$$\therefore \quad v_{2C} = \sqrt{v_2^2 - 4gr} \quad \text{_カ}$$



［オ］，［カ］より，条件は

$$\sqrt{v_2^2 - 4gr} \geqq \sqrt{gr} \qquad \therefore \quad v_2 \geqq \sqrt{5gr} \quad \text{_キ}$$

$v_2 = \dfrac{2m_1}{m_1+m_2}\sqrt{2gh_1}$ であったから，h_1 の条件は

$$\frac{2m_1}{m_1+m_2}\sqrt{2gh_1} \geqq \sqrt{5gr}$$

$$\therefore \quad h_1 \geqq \frac{5}{8}\left(\frac{m_1+m_2}{m_1}\right)^2 r \quad \text{_ク}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第16講　確認テスト

【解答】

1	d	2	a	3	e	4	f	5	c
6	d	7	d	8	h	9	d	10	h

【解説】

(1)　図より波長は $\lambda = \mathbf{4}$ [m]$_{-1}$

(2)　振幅は，$A = \mathbf{1}$ [m]$_{-2}$

(3)　0.2 [s] で 1 [m] 進むので，速さは $v = \dfrac{1}{0.2} = \mathbf{5}$ [m/s]$_{-3}$

(4)　振動数 f は，$f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{5}{4} = \mathbf{1.25}$ [Hz]$_{-4}$

(5)　$x = 2$ の点は，$t = 0$ で $y = 0$，$t > 0$ でまず $y > 0$ となるので，$\boldsymbol{c}_{-5}$

$t = t_0$ はちょうど1周期後ゆえ，$t_0 = \dfrac{1}{f} = \mathbf{0.8}$ [s]$_{-6}$

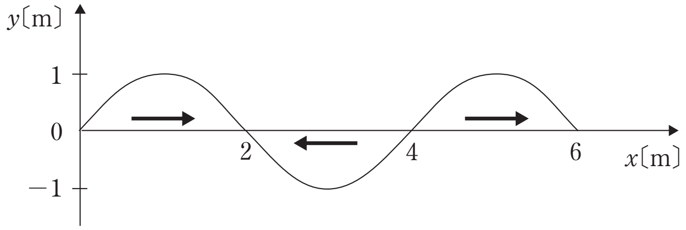
(6)

(i)　$t = 0$ で山または谷となっているところ → $x = \mathbf{1.0}$ **と 3.0 [m]**$_{-7}$

(ii)　$t = 0$ で変位0かつ $t > 0$ で $y < 0$ となるのは $x = \mathbf{4.0}$ **[m]**$_{-8}$

(iii)　$t = 0$ での媒質の変位は，図の矢印の方向。$x = \mathbf{2.0}$ **[m]**$_{-9}$

(iv)　同様に，右図より $x = \mathbf{4.0}$ **[m]**$_{-10}$



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第17講　確認テスト

【解答】

1　②　　2　①　　3　③　　4　④　　5　④

【解説】

問1

図より，波長 λ は

$$\frac{\lambda}{2}=0.4 \qquad \therefore\ \lambda=\mathbf{0.8}\ [\mathrm{m}]$$

問2

周期 $T=0.40$ [s] ゆえ，振動数 f は

$$f=\frac{1}{T}=\frac{1}{0.40}=\mathbf{2.5}\ [\mathrm{Hz}]$$

問3　速さ v は

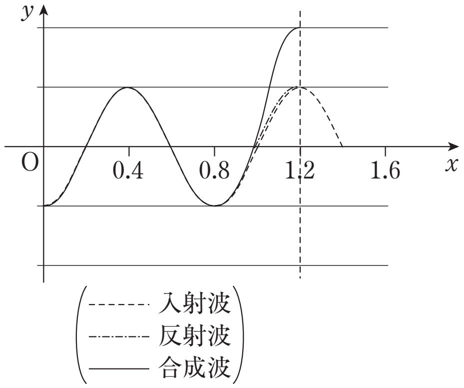
$$v=f\lambda=2.5\times0.8=\mathbf{2.0}\ [\mathrm{m/s}]$$

問4　$T=0.40$ ゆえ，

$$t=0.50=0.40+0.10=T+\frac{1}{4}T$$

よって，Pに達した後，波が $\frac{1}{4}\lambda$ だけ進んだ状態!!

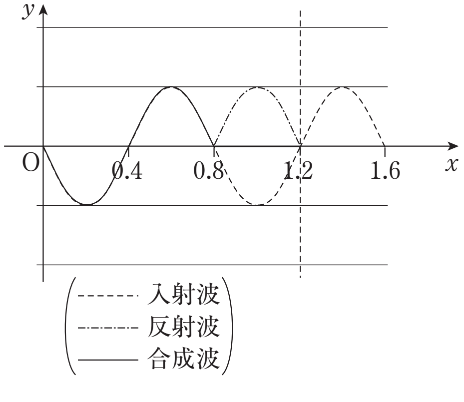
ゆえに波の様子を描くと右の様になる。



問5

$$t=0.60=0.40+0.20=T+\frac{1}{2}T$$

Pに達した後，波が半波長進んだ状態を考える！



ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第18講　確認テスト

【解答】

1　(ア)　　2　(ウ)　　3　(ア)　　4　(カ)

【解説】

問1

AもBも，山と山，谷と谷が重なり合い，**強め合う**$_{1}$ となっている。

問2

実線（又は破線）の間隔を見て，**4.0**$_{2}$ [cm]

問3

$\lambda = 4.0$ [cm] として，

$|S_1P - S_2P| = |2\lambda - 2.5\lambda| = 0.5\lambda = \mathbf{2.0}_{3}$ [cm]

問4

実線と破線の交点を通るものを探せばよい。

$\therefore$　$\boldsymbol{a}$，$\boldsymbol{c}$，$\boldsymbol{e}$，$\boldsymbol{g}$$_{4}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第19講　確認テスト

【解答】

［A］

1　③　　2　①　　3　⑤　　4　③

［B］

5　⑦　　6　③　　7　⑤　　8　④

【解説】

［A］

問1

弦に生じている波の波長λは

$$\frac{\lambda}{2}\times 3=l \qquad \therefore\ \lambda=\frac{2}{3}l$$

よって，

$$V=f\lambda=\boldsymbol{\frac{2}{3}lf}\ _1$$

問2

固有振動数の式は

腹3コのとき：$f=\dfrac{1}{2l}\sqrt{\dfrac{mg}{\rho}}\times 3$ ——Ⓐ

腹6コのとき：$f=\dfrac{1}{2l}\sqrt{\dfrac{\alpha mg}{\rho}}\times 6$ ——Ⓑ

Ⓑ÷Ⓐより，

$$\alpha=\boldsymbol{\frac{1}{4}}\text{倍}\ _2$$

問3

腹の数が6→5→4→3→2→1となるので，**5回**_3

問4

振動数の式は

$$f+\Delta f=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{mg}{\rho}}\times 4 \quad ——Ⓒ$$

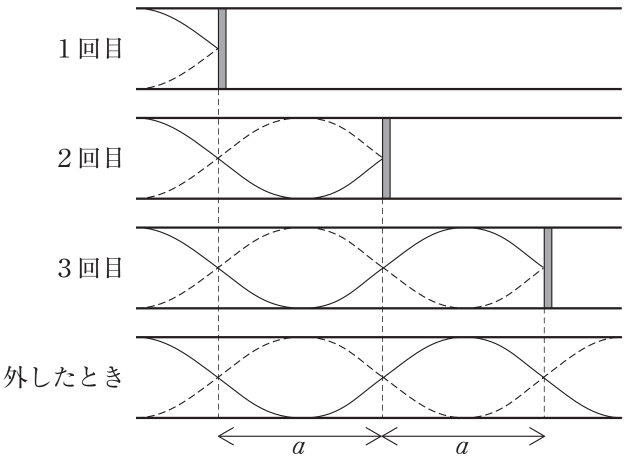
Ⓒ÷Ⓐより，

$$\frac{f+\Delta f}{f}=\frac{4}{3} \qquad \therefore\ \Delta f=\boldsymbol{\frac{1}{3}f}\ _4$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

［B］

問１　気柱の振動の様子は右図の様になる。



波長 λ は

$$\frac{\lambda}{2}=a$$

$$\therefore\ \lambda=\mathbf{2}\boldsymbol{a}\ _5$$

問２

$$V=f\lambda$$

$$\therefore\ f=\frac{V}{\lambda}=\frac{\boldsymbol{V}}{\mathbf{2}\boldsymbol{a}}\ _6$$

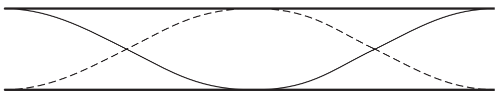
問３

図より，管の長さは

$$L=\frac{a}{2}+a+a+\frac{a}{2}=\mathbf{3}\boldsymbol{a}\ _7$$

問４

振動数を下げていき，次に共鳴したときの様子は右の様になり，２倍の振動の形になる。元の振動数のときは３倍振動の形だから，新しい振動数 f' は



$$f:f'=3:2$$

$$\therefore\ f'=\frac{\mathbf{2}}{\mathbf{3}}\boldsymbol{f}\ _8$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第20講　確認テスト

【解答】

1　②　　2　①　　3　④　　4　③　　5　②
6　②　　7　⑥　　8　②

【解説】

(1)　ドップラー効果の公式を用いる。

直接音
$$\begin{cases} f_{直} = \dfrac{\boldsymbol{V}}{\boldsymbol{V+v}} \cdot f_0 _1 \\ \lambda_{直} = \dfrac{\boldsymbol{V+v}}{\boldsymbol{f_0}} _2 \end{cases}$$

反射音
$$\begin{cases} f_{反} = \dfrac{\boldsymbol{V}}{\boldsymbol{V-v}} \cdot f_0 _3 \\ \lambda_{反} = \dfrac{\boldsymbol{V-v}}{\boldsymbol{f_0}} _4 \end{cases}$$

うなりの１秒あたりの回数は

$$\Delta f = |f_{直} - f_{反}| = \frac{2vV}{V^2 - v^2} \cdot f_0 _5$$

音源の運動方向を逆向きにするとき，$v \to (-v)$ とすればよいので，うなりの回数は

$$\Delta f' = \left| \frac{V}{V-v} f_0 - \frac{V}{V+v} f_0 \right| = \Delta f = \frac{\boldsymbol{2vV}}{\boldsymbol{V^2 - v^2}} \cdot f_0 _6$$

(2)　風が吹くと，音速が変化することに注意。

Aが聞く音：$f_A = \dfrac{(V-w)}{(V-w)+v} f_0 = \dfrac{\boldsymbol{V-w}}{\boldsymbol{V-w+v}} \cdot f_0 _7$

Bが聞く音：$f_B = \dfrac{(V+w)}{(V+w)-v} f_0 = \dfrac{\boldsymbol{V+w}}{\boldsymbol{V+w-v}} \cdot f_0 _8$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第21講　確認テスト

【解答】

問1

⑥

問2

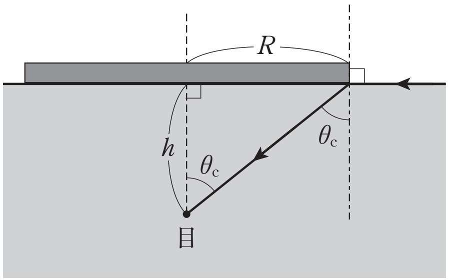
(1)　⑤　　　(2)　④

【解説】

問1

光線が円板の端にきたときに，臨界角となればよい。

$$\begin{cases} \text{屈折の法則：} 1\cdot\sin 90^\circ = n\sin\theta_\mathrm{C} \\ \text{図より　　：} \sin\theta_\mathrm{C} = \dfrac{R}{\sqrt{R^2+h^2}} \end{cases}$$



２式より，

$$n = \frac{\sqrt{R^2+h^2}}{R} \qquad \therefore\ R = \boldsymbol{\frac{h}{\sqrt{n^2-1}}}$$

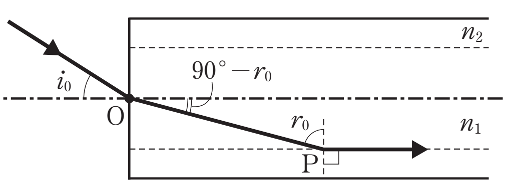
問2

(1)　屈折率 n_1 の媒質内では，光の速さは $\dfrac{c}{n_1}$ となり，ファイバーの長さ方向成分は $\dfrac{c}{n_1}\sin r$ となるので，かかる時間は

$$t = \frac{L}{\dfrac{c}{n_1}\sin r} = \boldsymbol{\frac{n_1 L}{c\sin r}}$$

(2)　２つの媒質の境界への入射角が臨界角となるときについて，屈折の法則より，

$$\begin{cases} \text{点O：} \sin i_0 = n_1\sin(90^\circ - r_0) = n_1\cos r_0 \\ \text{点P：} \sin r_0 = \dfrac{n_2}{n_1} \end{cases}$$



この２式と，$\cos^2 r_0 + \sin^2 r_0 = 1$ より，

$$\sin i_0 = \boldsymbol{\sqrt{n_1{}^2 - n_2{}^2}}$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第22講　確認テスト

【解答】

(1) 〔2〕　(2) 〔3〕　(3) 〔4〕　(4) 〔1〕

(5) 〔4〕　(6) 〔1〕　(7) 〔3〕　(8) 〔2〕

【解説】

(a)　$b=98-a$ と書けるので，レンズの公式を用いると，

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{98-a}=\frac{1}{20}$$

整理すると，

$$a^2-98a+1960=0$$

$$(a-28)(a-70)=0$$

$$\therefore\quad a=\mathbf{28}\ [\mathrm{cm}]_{(1)}\quad \text{または}\quad \mathbf{70}\ [\mathrm{cm}]_{(3)}$$

倍率は，

$$1\text{回目}：\frac{70}{28}=\mathbf{2.5}_{(2)}\quad ,\quad 2\text{回目}：\frac{28}{70}=\mathbf{0.4}_{(4)}$$

(b)　$a=b$ となるときだから，

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{a}=\frac{1}{20}\qquad \therefore\quad a=40\ [\mathrm{cm}]$$

よって，

$$\overline{\mathrm{PQ}}=80\ [\mathrm{cm}]_{(5)}\qquad \text{倍率は}\ \mathbf{1.0}_{(6)}$$

(c)　**正立虚像**$_{7}$

(d)　レンズの公式より，

$$\frac{1}{60}-\frac{1}{b'}=-\frac{1}{15}\qquad \therefore\quad b'=\mathbf{12}\ [\mathrm{m}]_{(8)}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 23 講　確認テスト

【解答】

1　②　　2　③　　3　③　　4　④

【解説】

問１

$$\begin{cases} S_1P = \sqrt{L^2 + \left(x - \dfrac{d}{2}\right)^2} = L\sqrt{1 + \left(\dfrac{x - \frac{d}{2}}{L}\right)^2} \fallingdotseq L\left\{1 + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{x - \frac{d}{2}}{L}\right)^2\right\} \\ S_2P = \sqrt{L^2 + \left(x + \dfrac{d}{2}\right)^2} = L\sqrt{1 + \left(\dfrac{x + \frac{d}{2}}{L}\right)^2} \fallingdotseq L\left\{1 + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{x + \frac{d}{2}}{L}\right)^2\right\} \end{cases}$$

となるので，経路差は

$$|S_1P - S_2P| = \boldsymbol{\frac{dx}{L}}\text{—}_{1}$$

問２

$$\varDelta = \boldsymbol{m\lambda}\text{—}_{2}$$

問３

条件を変える前の，明線条件は

$$\frac{dx}{L} = m\lambda$$

よって，明線の位置は

$$x = \frac{\lambda L}{d}m$$

となり，間隔は

$$\varDelta x = \frac{\lambda L}{d}$$

となる。よって $d \to 2d$ とすると，$\varDelta x$ は $\boldsymbol{\frac{1}{2}}$ 倍—₃となる。

問４

透明な物質を入れたことによる光路差は，物質の厚みを a とすると $a(n-1)$ となるので，明線条件は

$$\frac{dx}{L} + a(n-1) = m\lambda$$

よって，明線の位置は

$$x = \frac{\lambda L}{d}m - \frac{L}{d}a(n-1)$$

となり，各明線は $\frac{L}{d}a(n-1)$ だけ図の下方へずれる。よって，

$$\frac{d}{2} = \frac{L}{d}a(n-1) \qquad \therefore\ a = \boldsymbol{\frac{d^2}{2(n-1)L}}\text{—}_{4}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 24 講　確認テスト

【解答】

1　(D)　　2　(F)　　3　(B)　　4　(A)　　5　(E)

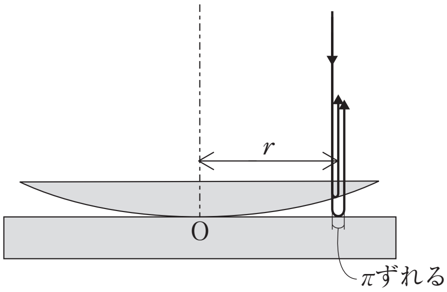
【解説】

1　反射による位相のずれも考慮して，

明線条件は

$$2d = m\lambda - \frac{\lambda}{2}$$

$$= \left(\boldsymbol{m} - \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{2}}\right)\boldsymbol{\lambda}\ _1$$



2　上の条件に，$d = \frac{r_m{}^2}{2R}$ を代入して，

$$\frac{r_m{}^2}{R} = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

m 番目の明環の半径 r_m は

$$r_m = \sqrt{\left(\boldsymbol{m} - \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{2}}\right)\boldsymbol{\lambda R}}\ _2$$

3　**外側へいくほど狭くなる。**＿3

4　r_m は $\sqrt{\lambda}$ に比例するので，波長の長い**赤い光の方が大きくなる。**＿4

5　水を入れても反射による位相のずれは変わらない。水中では波長が $\frac{\lambda}{n}$ となるので

明線条件は

$$\frac{r_m'^2}{R} = \left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n}$$

$$\therefore\ r_m' = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda R}{n}} = \frac{\boldsymbol{1}}{\sqrt{\boldsymbol{n}}} r_m\ _5$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第25講　確認テスト

【解答】

(1)

(a)　ア　⑧　　イ　③

(b)　ウ　③　　エ　⑤　　オ　⑦

(2)　カ　③　　キ　②

【解説】

(1)

(a)　基本振動ゆえ，波長は $2l=120$ [cm]。よって，速さ v は

$$v=f\lambda=500\times1.2=\mathbf{600}\ \text{[m/s]}_{\text{ア}}$$

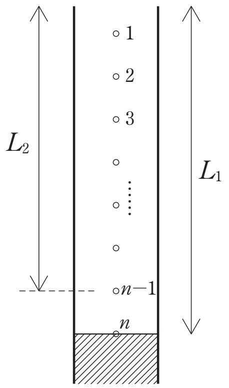
音波の波長 λ' は

$$\lambda'=\frac{V}{f}=\frac{340}{500}=\mathbf{0.68}\ \text{[m]}_{\text{イ}}$$

(b)　図の様に，節の位置と番号を設定すると，等差数列の公式から

$$L_1=\frac{\lambda}{4}+\frac{\lambda}{2}(n-1)$$

$$L_2=\frac{\lambda}{4}+\frac{\lambda}{2}(n-1-1)$$



２式より λ を消去して，

$$n=\frac{\mathbf{3L_1-L_2}}{\mathbf{2(L_1-L_2)}}{}_{\text{ウ}}$$

閉管の固有振動数の式は L [m] とすると

$$f=\frac{V}{4L}\times(2m-1)\qquad(m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$$

これに $f=500$ [Hz]，$V=340$ [m/s] を代入すると，L は

$$L=\frac{340}{4\times500}\times(2m-1)=0.17\times(2m-1)\ \text{[m]}=17\times(2m-1)\ \text{[cm]}$$

よって，L を 0 ～ 120 [cm] の範囲で動かすとき，

$$0<17\times(2m-1)<120$$

これを満たす奇数 $(2m-1)$ の値は，1，3，5，7 の **4** 回$_{\text{エ}}$

また，$L=0.5$ [m] として，f を 40 [Hz] ～ 2000 [Hz] とするとき，

$$40<170\times(2m-1)<2000$$

これを満たす奇数 $(2m-1)$ は，1，3，5，7，9，11 の **6** 回$_{\text{オ}}$

(2)

③$_{\text{カ}}$

②$_{\text{キ}}$

はじめに

皆さんは今まで，どんなことを意識しながら勉強してきましたか？単純に好きな科目だからいつもやっていた人，とにかく受験で必要だから解きまくっておかなきゃという人，この科目はよくわからないから後回しな人，など様々だと思います。特に物理の場合は３番目の意見の人が多いかもしれませんね。

しかし，物理というのは本当はおもしろい学問なのです。「ほんの少し」解り始めるだけで途端におもしろくなる，そんな学問なのです。ただ，その「ほんの少し」の理解に皆苦しんでしまい，嫌いになってしまう。ですから，授業ではそこを，「最初の第１歩」を特にしっかりとやりたいと思います。覚えなければいけないことはほんの少しだけしかありません。授業では原理や法則などを含め，何を覚えなければいけないのか，何は覚えなくてよいのか，をしっかりと把握させ，「はじめの一歩」でつまずかないように話をしています。動画を見てポイントの説明を理解したら，まずはそれを「使ってみて」ください。それが，「物理」というものの理解につながるはずです。

このテキストは，入試問題に頻出の問題を集め，それを通して物理の基本的な考え方が理解できるように編集してあります。また，各講の内容が理解できたかチェックできるテスト＆解説がついています。講によっては総合的な内容になっているものもあります。ポイント→例題→テストの３段階チェックで，しつこいくらいに確認をしながら進めていけるはずです。

物理の力をつけるために，とにかくまずはこのテキストをしっかり理解するように努めましょう。
そのためには，

１．テキストをざっとみたら授業をしっかり聞いて，ノートをとる
２．**何も見ずに解けるようになるまで繰り返し解く。**
３．類題などを解き，知識，技術をしっかりと身につける。

ということを意識して進めてください。特に２.の**繰り返す**ということが大事です。これを怠って点が伸びない人がとても多い。わかった気になって放っておくのが一番危険です。つまずいたときは，再び動画を見てみればいい。飽きを感じたりすることもあるかもしれませんが，初めのうちは，とにかく**何度も繰り返して**ください。

受験期はいろいろな意味で成長できる大事な時期です。沢山のことを貪欲に，しっかりと吸収し，１段も２段も上へと成長できるよう，弛まず進んでいってください。そして，必ず栄光をつかみましょう！

中野　喜允

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜後期　目次＞

熱力学

第 26 講　比熱・熱容量・熱量保存則

第 27 講　気体分子運動論と内部エネルギー

第 28 講　気体がする仕事・熱力学第１法則

第 29 講　熱サイクルと熱効率

第 30 講　断熱変化を含む過程

第 31 講　総合演習４

電磁気学

第 32 講　クーロンの法則・電場と電位１

第 33 講　電場と電位２

第 34 講　電気抵抗と直流回路

第 35 講　コンデンサー１

第 36 講　コンデンサー２

第 37 講　非線形素子

第 38 講　総合演習５

第 39 講　ローレンツ力

第 40 講　電流と磁場

第 41 講　電磁誘導１

第 42 講　電磁誘導２

第 43 講　コイル

第 44 講　LC 振動回路

第 45 講　交流１

第 46 講　交流２

第 47 講　総合演習６

第 48 講　総まとめ演習

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 26 講　比熱・熱容量・熱量保存則

1

比熱 2.1 [J/g·K] の容器に液体 250 [g] が入れられ，容器と共に温度が 20 [℃] に保たれている。それに 80 [℃] の同じ液体 350 [g] を加えておいたら熱平衡に達し，全体の温度が 50 [℃] になった。そこで，容器から液体を 200 [g] 抜き取った後，今度は 105 [℃] の金属球 210 [g] を入れて放置したら全体の温度は 55 [℃] になった。

熱は外界に逃げないものと仮定し，液体の比熱は，4.2 [J/g·K] として次の物理量を計算しなさい。

(1)　容器の熱容量とその単位を求めなさい。
(2)　容器の質量を求めなさい。
(3)　金属球の熱容量を求めなさい。
(4)　金属球の比熱を求めなさい。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

　次の文中の ア ～ ケ にあてはまる式を記入せよ。文中に現れる物理量の単位はすべてSI単位で，温度は絶対温度である。

　温度 T_1，質量 m_1 の銅球を，質量 m_2 の水が入ったビーカーに入れた。銅球を入れる前の初期状態では，水とビーカーの温度はともに T_2 で，ビーカーの熱容量は C，銅と水の比熱はそれぞれ c_1，c_2 とする。以下では，これらの物体と外部との熱のやりとりは無視できるものとする。

　水，ビーカーおよび銅球が熱平衡に達したときの温度を T_3 とすると，初期状態から熱平衡に達するまでのエネルギーの増減は，銅球，水，ビーカーのそれぞれについて

（銅球）　　$\Delta Q_1 =$ ア

（水）　　$\Delta Q_2 =$ イ

（ビーカー）　　$\Delta Q_3 =$ ウ

となる。

　これら ΔQ_1，ΔQ_2，ΔQ_3 の間には エ の関係式が成り立つ。これより，温度 T_3 は，T_1 と T_2 を用いて $T_3 =$ オ と表すことができる。

　次に，水，ビーカーおよび銅球が温度 T_3 に達したとき，質量 M，温度 T_0 の氷をビーカーに入れた。T_0 は氷の融点で，この氷はすべて溶けた。氷が溶けた後に水，ビーカーおよび銅球が熱平衡に達した温度は T_4 であった。氷の融解熱を L とすると，T_4 は T_0 と T_3 を用いて

$$T_4 = \frac{(\boxed{\text{カ}})T_3 + \boxed{\text{キ}}\,T_0 + \boxed{\text{ク}}}{\boxed{\text{ケ}}}$$

と表される。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

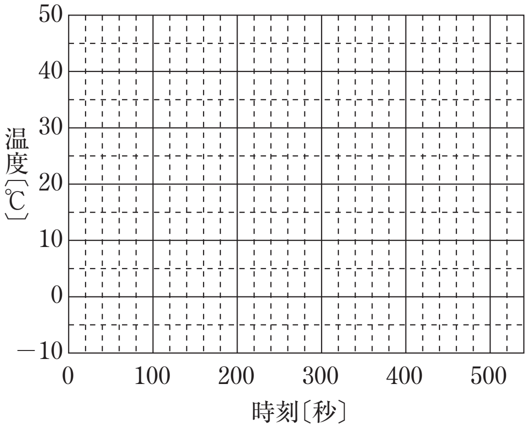
3

　-10［℃］の氷200gを容器に入れ，電熱器で加熱し，氷（水）に連続して一定の熱を加えた。加熱を始めた時刻を0秒とし，時刻340秒で，全ての氷が融解し0［℃］の水になった。さらに時刻540秒で水温は50［℃］になった。容器の熱容量および外部への熱の放出は無視でき，氷の比熱を2.1［J/g･℃］，水の比熱を4.2［J/g･℃］とする。以下の各問に答えなさい。

⑴　氷（水）に加えられた1秒間あたりの熱量 Q を求めなさい。

⑵　0［℃］で氷1［g］を水にするために必要な熱量（融解熱）W を求めなさい。

⑶　時刻0秒から540秒までの氷（水）の温度変化を図に描きなさい。



⑶の解答欄

⑷　水温が50［℃］になったとき，容器内に0［℃］の氷100［g］を投入し，加熱を続けた。この後，水温が再び50［℃］になる時刻 t を求めなさい。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 26 講　確認テスト

次の各設問の［　　］に該当する答の番号を解答群から選べ。

質量 110 g の銅製の熱量計に水 50 g を入れて温度を測ると 20℃であった。そこへ 80℃の高温の水 30 g を加えたところ，全体の温度が 40℃になった。ただし水の比熱を 4.2 J/g·K とし，外部との熱の出入りは無いものとする。

問１　高温の水が失った熱量 Q は［ 1 ］J となる。

［ 1 ］の解答群

①　13440　　②　10080　　③　8400　　④　7560　　⑤　5040　　⑥　4200

問２　熱量計の熱容量 U は［ 2 ］J/K となる。

［ 2 ］の解答群

①　39　　②　42　　③　105　　④　168　　⑤　336　　⑥　840

問３　問２より銅の比熱 C は［ 3 ］J/g·K となる。

［ 3 ］の解答群

①　0.95　　②　0.49　　③　0.42　　④　0.40　　⑤　0.38　　⑥　0.34

問４　全体の温度を 40℃から 50℃にしたい場合，80℃の高温の水をさらに［ 4 ］g 加えればよいことになる。

［ 4 ］の解答群

①　30　　②　42　　③　60　　④　100　　⑤　126　　⑥　1254

問５　全体温度が 50℃となった問４の状態でさらにこの中へ，100℃に加熱された質量 400 g の金属球を入れたとき，全体の温度が 60℃となった。この金属球の比熱 C' は［ 5 ］J/g·K となる。

［ 5 ］の解答群

①　0.11　　②　0.15　　③　0.23　　④　0.32　　⑤　0.47　　⑥　0.55

ⓒRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 27 講　気体分子運動論と内部エネルギー

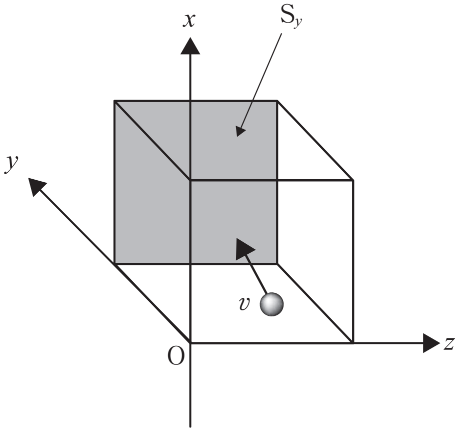
1

[　　]に適切な文字または式を入れよ。

単原子分子の理想気体について考える。一辺の長さ L の立方体の中に N 個の分子が閉じ込められており，分子は立方体の壁に完全弾性衝突する。また分子どうしの衝突はなく，重力の影響は無視する。

この中の 1 個の分子の運動に着目する。速度 $\vec{v}=(v_x,\ v_y,\ v_z)$ で運動していたものが図の壁 S_y に衝突すると衝突後の速度は $\vec{v'}=($[1], [2], [3]$)$になる。分子の質量を m とおくと，衝突前後の分子の運動量の変化の大きさは[4]であり，これは一回の衝突で壁 S_y が受ける力積の大きさに等しい。

分子が次に壁 S_y と衝突するまでの時間 τ は距離 L の区間を速さ v_y で運動して一往復するのにかかる時間と等しいので[5]である。$\dfrac{1}{\tau}$ は 1 個の分子が単位時間内に壁 S_y と衝突する回数であるから，壁 S_y が 1 個の分子から単位時間内に受ける力積は[6]である。これは 1 個の分子が壁 S_y を押す平均の力である。



N 個の分子について $v_y{}^2$ の平均をとったものを $\overline{v_y{}^2}$ とすると，壁 S_y がすべての分子から受ける力は[7]である。これを壁 S_y の面積 L^2 で割ったものが圧力 P である。立方体の体積 V は $V=L^3$ であることに注意すると $P=$[8]である。

多数の分子の運動は乱雑であり，平均すればどの方向にも同じであると考えられるので $\overline{v_x{}^2}=\overline{v_y{}^2}=\overline{v_z{}^2}$，また $v^2=v_x{}^2+v_y{}^2+v_z{}^2$ なので v^2 を N 個の分子について平均したものを $\overline{v^2}$ とすると $\overline{v_y{}^2}=$[9]が成り立つ。

これを[8]に代入して整理すると，$PV=$[10]を得る。一方，アボガドロ数 N_A を，気体定数を R，温度を T とすると，今考えている理想気体の状態方程式は $PV=$[11]となる。両者を比較すると気体分子の運動エネルギーの平均 $\dfrac{1}{2}m\overline{v^2}$ は[12]となり，温度 T に比例していることがわかる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

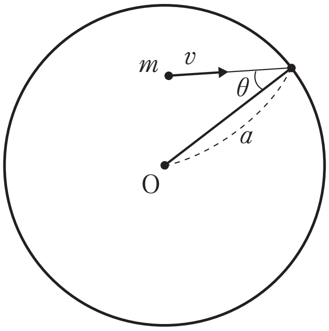
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

次の文章を読み，以下の問（(1)〜(7)）に答えよ。

半径 a の球形の容器（中心O）に絶対温度 T，分子の質量が m の単原子分子からなる理想気体が n [mol] 入っている。分子は容器の壁と完全弾性衝突をし，分子どうしの衝突は無いものとして，この気体の圧力と分子の熱運動の関係を考えてみよう。ただし，アボガドロ数を N_A，気体定数を R とする。



(1) 図のように，入射角 θ で速さ v の分子が壁にぶつかり弾性衝突して跳ね返った。この分子の運動量の変化の大きさはいくらか。正しいものを次の(a)〜(h)のうちから一つ選べ。

(a) $\dfrac{mv}{\cos\theta}$　(b) $\dfrac{2mv}{\cos\theta}$　(c) $\dfrac{mv}{\sin\theta}$　(d) $\dfrac{2mv}{\sin\theta}$

(e) $mv\cos\theta$　(f) $2mv\cos\theta$　(g) $mv\sin\theta$　(h) $2mv\sin\theta$

(2) 跳ね返ったこの分子が，次に壁にぶつかるまでに進む距離はどれほどか。正しいものを次の(a)〜(h)のうちから一つ選べ。

(a) $\dfrac{a}{\cos\theta}$　(b) $\dfrac{2a}{\cos\theta}$　(c) $\dfrac{a}{\sin\theta}$　(d) $\dfrac{2a}{\sin\theta}$

(e) $a\cos\theta$　(f) $2a\cos\theta$　(g) $a\sin\theta$　(h) $2a\sin\theta$

(3) この分子は単位時間に何回容器の壁にぶつかるか。正しいものを次の(a)〜(h)のうちから一つ選べ。

(a) $\dfrac{v}{2a\cos\theta}$　(b) $\dfrac{v}{a\cos\theta}$　(c) $\dfrac{v}{2a\sin\theta}$　(d) $\dfrac{v}{a\sin\theta}$

(e) $\dfrac{v}{a\tan\theta}$　(f) $\dfrac{2v}{a\tan\theta}$　(g) $\dfrac{v\tan\theta}{a}$　(h) $\dfrac{2v\tan\theta}{a}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(4)　この分子が単位時間に壁にあたえる力積の大きさの和はいくらか。正しいものを次の(a)〜(h)のうちから一つ選べ。

(a) $\dfrac{mv^2}{2a}$　(b) $\dfrac{mv^2}{a}$　(c) $\dfrac{mv^2}{2a\sin\theta}$　(d) $\dfrac{mv^2}{a\sin\theta}$

(e) $\dfrac{mv^2}{2a\tan\theta}$　(f) $\dfrac{mv^2}{a\tan\theta}$　(g) $\dfrac{mv^2}{2a\cos\theta}$　(h) $\dfrac{mv^2}{a\cos\theta}$

(5)　この容器の中の分子は，熱運動によりいろいろな速さと入射角で壁に衝突を繰り返している。n [mol] の気体分子についての速度の 2 乗の平均$\overline{v^2}$を用いると，この気体の圧力はどのように表されるか。正しいものを次の(a)〜(h)のうちから一つ選べ。

(a) $\dfrac{\pi nN_\mathrm{A}m\overline{v^2}}{6a^3}$　(b) $\dfrac{\pi nN_\mathrm{A}m\overline{v^2}}{3a^3}$　(c) $\dfrac{nN_\mathrm{A}m\overline{v^2}}{4\pi a^3}$　(d) $\dfrac{nN_\mathrm{A}m\overline{v^2}}{3\pi a^3}$

(e) $\dfrac{nN_\mathrm{A}m\overline{v^2}}{6a^3}$　(f) $\dfrac{nN_\mathrm{A}m\overline{v^2}}{3a^3}$　(g) $\dfrac{nN_\mathrm{A}m\overline{v^2}}{2a^3}$　(h) $\dfrac{nN_\mathrm{A}m\overline{v^2}}{a^3}$

(6)　(5)の結果と理想気体の状態方程式を用いると，分子 1 個あたりの平均の運動エネルギーはどのように表されるか。正しいものを次の(a)〜(h)のうちから一つ選べ。

(a) $\dfrac{3RT}{4mN_\mathrm{A}}$　(b) $\dfrac{RT}{mN_\mathrm{A}}$　(c) $\dfrac{3RT}{2mN_\mathrm{A}}$　(d) $\dfrac{3RT}{mN_\mathrm{A}}$

(e) $\dfrac{3RT}{4N_\mathrm{A}}$　(f) $\dfrac{RT}{N_\mathrm{A}}$　(g) $\dfrac{3RT}{2N_\mathrm{A}}$　(h) $\dfrac{3RT}{N_\mathrm{A}}$

(7)　300 [K] のヘリウム気体中の分子運動の平均の速さ$\sqrt{\overline{v^2}}$は 375 [K] のネオン気体中の分子運動の$\sqrt{\overline{v^2}}$のおよそ何倍か。最も適当なものを，(a)〜(h)のうちから一つ選べ。ただし，1 [mol] の質量はヘリウムが 4.0 [g]，ネオンが 2.0×10 [g] とする。

(a) 0.2　(b) 0.8　(c) 1.3　(d) 2.0

(e) 2.2　(f) 3.2　(g) 4.0　(h) 5.0

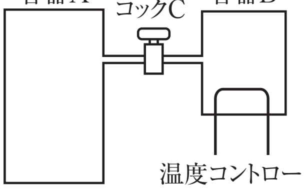
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図に示すように，断熱材で囲まれた容器A（体積 V）と容器B（体積$\dfrac{V}{2}$）が，コックC をもつ細い管で連結され，また，容器Bには内部の気体の温度を変えることができるコントローラーが取り付けられている。容器A，Bの熱膨張，および連結管の熱膨張と熱伝導は無視できるものとして，以下の各問に答えよ。



問１　コックCを閉じたまま，容器Aに圧力 p，温度 T の単原子分子理想気体Aをつめ，一方，容器Bには圧力$\dfrac{p}{4}$，温度$\dfrac{T}{4}$の単原子分子理想気体Bをつめた。

(1)　気体Aのモル数 n_A は気体Bのモル数 n_B の何倍か。

次に，温度コントローラーを使って気体Bの温度を$\dfrac{T}{4}$から$\dfrac{T}{2}$に上げ，温度コントローラーのスイッチを切った。気体Bの定積モル比熱を C_V とする。

(2)　気体Bの内部エネルギーの増加量 ΔU を求めよ。

(3)　気体Bの圧力 p' はいくらか。

問２　その後，コックCを開いた。そして，じゅうぶん時間がたって気体AとBが完全に混じり合った。

(4)　混合気体の温度 T_{AB} はいくらか。

(5)　混合気体の圧力 p_{AB} はいくらか。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

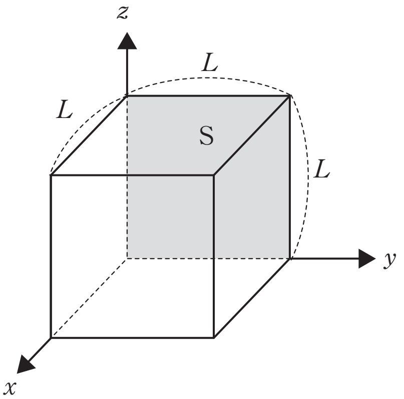
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第27講　確認テスト

図に示すような一辺の長さが L [m] の立方体の容器の中に，1個あたり質量 m [kg] の単原子分子理想気体の分子 N 個が入っており，壁の表面と弾性衝突を繰り返している。ここで，分子どうしの衝突はないものとし，重力の影響は無視する。

立方体の3辺に平行に x，y，z 軸をとり，x 軸に垂直な壁Sに速度 v [m/s] で衝突する分子に注目する。



以下の文章の各［　　］について，解答群の中から最も適当なものを一つ選びなさい。

分子の速度 v [m/s] の x，y，z 成分を v_x，v_y，v_z としたとき，1個の分子が x 軸に垂直な壁Sに及ぼす力積の大きさは1回の衝突で［(1)］[N·s] となる。

v_x の速さで運動している分子が x 方向を1往復するのに要する時間は［(2)］[s] である。また，分子は壁Sと1秒あたり［(3)］回衝突するので，時間 t [s] 間にその分子は壁と［(4)］回衝突することになる。したがって，時間 t [s] 間に1個の分子が壁に及ぼす力積は［(5)］[N·s] となる。

つぎに，N 個の分子についての $v_x{}^2$ の平均値を $\overline{v_x{}^2}$ と表すと，N 個の分子が時間 t [s] の間に壁に及ぼす力積は［(6)］[N·s] となる。そして，気体が壁Sに及ぼす平均の力を F [N] とすれば，平均の力 F は［(7)］[N] となる。一方，壁Sの面積は L^2 [m^2] であるから，気体の圧力 p は［(8)］[Pa] となる。ただし，$L^3=V$ [m^3] は容器の体積である。

さらに，気体の分子運動はどちらの方向にも等しく起こり，$\overline{v_x{}^2}=\overline{v_y{}^2}=\overline{v_z{}^2}$ が成り立つと考えることができるので，分子の速さの二乗平均値を $\overline{v^2}$ とすると，壁が分子から受ける圧力 p は［(9)］[Pa] と表すことができる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

〔解答群〕

(1)　ア．$-mv_x{}^2$　イ．$2m^2v_x{}^2$　ウ．$2mv_x$
　　エ．$3mv_x$　オ．$3mv_x{}^2$

(2)　ア．$2Lv_x$　イ．$\dfrac{v_x{}^2}{2L}$　ウ．$\dfrac{2L}{v_x{}^2}$　エ．$\dfrac{2L}{3v_x}$　オ．$\dfrac{2L}{v_x}$

(3)　ア．$\dfrac{v_x}{2L}$　イ．$\sqrt{2Lv_x}$　ウ．$\dfrac{2L}{v_x}$　エ．$2Lv_x$　オ．$\dfrac{\sqrt{2}\,v_x}{L}$

(4)　ア．$\dfrac{v_xt^2}{L}$　イ．v_xLt　ウ．$\sqrt{\dfrac{v_xL}{2t}}$　エ．$\dfrac{v_xt}{2L}$　オ．$2v_xLt$

(5)　ア．$\dfrac{v_x{}^2t}{mL}$　イ．$\dfrac{mv_x{}^2t}{L}$　ウ．$\dfrac{\sqrt{mv_x{}^2t}}{L}$
　　エ．$\dfrac{mL}{v_xt}$　オ．$\dfrac{v_x{}^2}{mLt}$

(6)　ア．$\dfrac{N\overline{v_x{}^2}\,t}{mL}$　イ．$\dfrac{m\,\overline{v_x{}^2}}{NLt}$　ウ．$\dfrac{Nm\,\overline{v_x{}^2}\,t}{L}$
　　エ．$\dfrac{N^2m\,\overline{v_x{}^2}\,t}{L}$　オ．$\sqrt{Nm\,\overline{v_x{}^2}\,Lt}$

(7)　ア．$\dfrac{Nm\,\overline{v_x{}^2}}{L}$　イ．$\sqrt{\dfrac{NLm}{\overline{v_x{}^2}}}$　ウ．$\dfrac{Nm}{L\,\overline{v_x{}^2}}$
　　エ．$\dfrac{Lm}{N\overline{v_x{}^2}}$　オ．$\sqrt{NLm\,\overline{v_x{}^2}}$

(8)　ア．$\dfrac{NV}{m\,\overline{v_x{}^2}}$　イ．$\dfrac{Vm}{N\overline{v_x{}^2}}$　ウ．$\dfrac{Nm\,\overline{v_x{}^2}}{V}$　エ．$\dfrac{m\,\overline{v_x{}^2}}{NV}$　オ．$\sqrt{\dfrac{m\,\overline{v_x{}^2}}{NV}}$

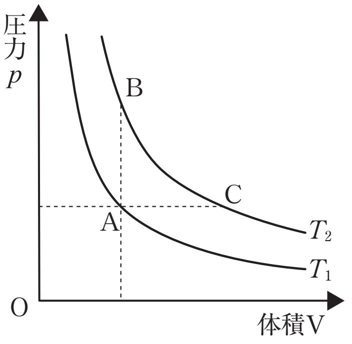
(9)　ア．$\dfrac{3V}{m\,\overline{v^2}}$　イ．$\dfrac{Vm}{3N\overline{v^2}}$　ウ．$\dfrac{Nm\,\overline{v^2}}{2V}$　エ．$\dfrac{2N\overline{v^2}}{3Vm}$　オ．$\dfrac{Nm\,\overline{v^2}}{3V}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 28 講　気体がする仕事・熱力学第１法則

1

一定質量の気体では，温度と圧力と体積はたがいに関連している。n mol の理想気体に対して図のように横軸に体積 V，縦軸に圧力 p をとる。このような V−p 面で 3 つの状態 A，B，C を選ぶ。状態 A は絶対温度 T_1 の等温線上にあり，状態 B，C は絶対温度 T_2 の等温線上にあって $T_2 > T_1$ とする。この理想気体の定積モル比熱を C_V，定圧モル比熱を C_p，気体定数を R として，以下の問に答えよ。



(1)　A → B の変化（定積変化）において気体がした仕事を求めよ。

(2)　A → B の変化において気体が吸収する熱量を求めよ。

(3)　A → B の変化による内部エネルギーの増加分はいくらか。

(4)　A → C の変化（定圧変化）において気体がした仕事を求めよ。

(5)　A → C の変化において気体が吸収する熱量を求めよ。

(6)　A → C の変化による内部エネルギーの増加分はいくらか。

(7)　以上の結果を用いて C_V と C_p の関係を求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

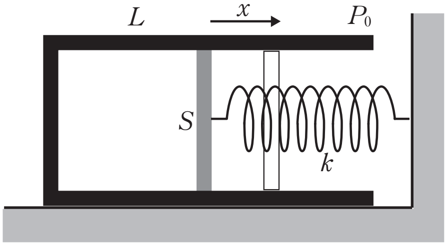
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，断熱材でできた断面積 S のシリンダーが床に固定されている。その中に１モルの単原子分子理想気体が入れられ，水平になめらかに動く断熱材でできたピストンで封じこめられている。ピストンは壁に固定されているばね定数 k のばねでつながれている。はじめ，ばねは自然な長さになっており，ピストンがシリンダーの左端から L の位置にあったものとする。大気圧を P_0，気体定数を R とする。

最初，内部の気体の温度は〔　１　〕と表すことができる。次に内部の気体にゆっくりと熱を与えたら，ばねは x だけ縮んで静止した。このときの気体の圧力は〔　２　〕となり，温度は〔　３　〕と表すことができる。このときの気体の内部エネルギーの変化量は〔　４　〕となり，気体がした仕事は〔　５　〕となる。よって気体に加えられた熱量は〔　６　〕であることがわかる。



〔　１　〕の選択肢

(a) $\dfrac{P_0L}{R}$　(b) $\dfrac{P_0SL}{R}$　(c) $\dfrac{P_0L}{2R}$　(d) $\dfrac{P_0SL}{2R}$

(e) $\dfrac{3P_0L}{2R}$　(f) $\dfrac{3P_0SL}{2R}$　(g) $\dfrac{P_0SL}{3R}$　(h) $\dfrac{2P_0SL}{3R}$

〔　２　〕の選択肢

(a) $P_0+\dfrac{kx}{L}$　(b) $-P_0+\dfrac{kx}{L}$　(c) $P_0+\dfrac{kx}{2L}$　(d) $P_0+\dfrac{kx}{S}$

(e) $-P_0+\dfrac{kx}{S}$　(f) $P_0+\dfrac{kx}{2S}$　(g) $P_0+\dfrac{kx^2}{2SL}$　(h) $-P_0+\dfrac{kx^2}{2SL}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

〔　3　〕の選択肢

(a) $\dfrac{1}{R}\left(P_0+\dfrac{kx}{L}\right)(L+x)S$

(b) $\dfrac{1}{R}\left(-P_0+\dfrac{kx}{L}\right)(L+x)S$

(c) $\dfrac{1}{R}\left(P_0+\dfrac{kx}{S}\right)(L+x)S$

(d) $\dfrac{1}{R}\left(-P_0+\dfrac{kx}{S}\right)(L+x)S$

(e) $\dfrac{1}{R}\left(P_0+\dfrac{kx}{2S}\right)\left(\dfrac{L+x}{2}\right)S$

(f) $\dfrac{1}{R}\left(P_0+\dfrac{kx^2}{2SL}\right)\left(\dfrac{L+x}{2}\right)S$

(g) $\dfrac{1}{R}\left(P_0+\dfrac{kx}{L}\right)xS$

(h) $\dfrac{1}{R}\left(3P_0+\dfrac{kx}{L}\right)\dfrac{LS}{2}$

(i) $\dfrac{1}{R}\left(P_0+\dfrac{kx}{S}\right)L$

(j) $R\left(P_0+\dfrac{kx}{2S}\right)(L+x)S$

(k) $k\left(P_0+\dfrac{kx^2}{2SL}\right)(L+x)S$

(l) $L\left(P_0+\dfrac{kx^2}{2SL}\right)(L+x)S$

〔　4　〕～〔　6　〕の選択肢

(a) $\dfrac{1}{2}kx^2+\dfrac{1}{2}P_0Sx$

(b) $\dfrac{1}{2}kx^2+P_0Sx$

(c) kx^2+P_0Sx

(d) $-\dfrac{1}{2}kx^2+P_0Sx$

(e) $\dfrac{3}{2}kx^2+P_0Sx$

(f) $-\dfrac{3}{2}kx^2+\dfrac{3}{2}P_0Sx$

(g) $\dfrac{1}{2}kx^2+\dfrac{1}{2}kLx+\dfrac{1}{2}P_0Sx$

(h) $\dfrac{1}{2}kx^2+\dfrac{1}{2}kLx+\dfrac{3}{2}P_0Sx$

(i) $kx^2+\dfrac{1}{2}kLx+\dfrac{5}{2}P_0Sx$

(j) $kx^2+\dfrac{1}{2}kLx+\dfrac{1}{2}P_0Sx$

(k) $\dfrac{3}{2}kx^2+\dfrac{3}{2}kLx+\dfrac{3}{2}P_0Sx$

(l) $\dfrac{3}{2}kx^2+\dfrac{3}{2}kLx+\dfrac{5}{2}P_0Sx$

(m) $2kx^2+\dfrac{3}{2}kLx+\dfrac{1}{2}P_0Sx$

(n) $2kx^2+\dfrac{3}{2}kLx+\dfrac{3}{2}P_0Sx$

(o) $2kx^2+\dfrac{3}{2}kLx+\dfrac{5}{2}P_0Sx$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図1のように，なめらかに移動できる断熱板CでA室，B室に仕切られた断熱シリンダー内に，同種の単原子分子の理想気体を封入した。このとき，A室内の圧力はp_0，体積はV_0，温度はT_0で，B室内の圧力はp_0，体積はV_0，温度は$4T_0$であった。B室には温度調節器Hが取り付けてあり，B室内の気体に熱を加えることができる。以下の問に答えよ。ただし，温度調節器の体積は無視できるものとする。

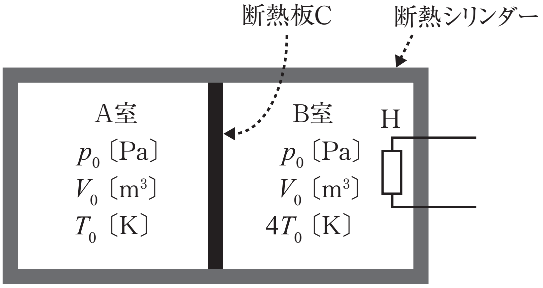


図1

問1．A室内の気体の物質量は，B室内の気体の物質量の何倍か。

問2．A室内の気体の2乗平均速度（速度の2乗平均の平方根）[m/s]は，B室内の気体の2乗平均速度の何倍か。

いま，温度調節器HからB室内の気体に熱をゆっくり加えたところ，A室内，B室内の気体の温度は図2のように，A室は$T_1(> T_0)$，B室は$T_2(> 4T_0)$になり，断熱板Cは静止した。以下の問では，p_0，V_0，T_0，T_1，T_2のうち必要なものを用いて答えよ。

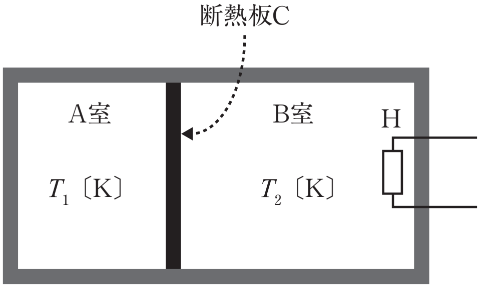


図2

問3．B室内の気体の内部エネルギーの変化の大きさはいくらか。

問4．B室内の気体が，A室内の気体にした仕事はいくらか。

問5．温度調節器Hが，B室内の気体に加えた熱量はいくらか。

問6．A室内の気体の圧力はいくらか。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

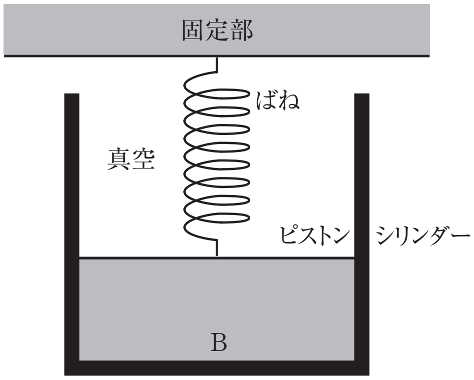
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 28 講　確認テスト

つぎの文中の［　　］にあてはまる適当なものを解答群の中から選びなさい。

図において，一端の閉じた一定の断面積をもつシリンダーが真空中で鉛直に固定され，その中にシリンダー内壁を滑らかに移動できる質量 m [kg] のピストンがある。ピストンはばね定数 k [N/m] の質量の無視できるばねで上方の固定部に接続され，ピストンがシリンダー底部 B にあるときバネは自然長の状態にある。ここで，ピストンとシリンダーの間に 1 モルの単原子分子理想気体を注入する。なお，シリンダーおよびピストンは断熱性をもつものとし，重力加速度の大きさを g [m/s^2]，気体定数は R [J/(mol·K)] とする。

気体の温度が T [K] のとき，ピストンはシリンダー底部 B より h [m] 上方にある（状態 1 と呼ぶ）。温度 T は［ ア ］[K] である。ここで加熱して気体の温度を $2T$ にすると，ピストンは B から $\frac{5}{4}h$ 上方で停止した（状態 2 と呼ぶ）。状態 2 での気体の圧力は状態 1 の圧力の［ イ ］倍である。状態 1 から状態 2 への変化によって気体が外部になした仕事の大きさは［ ウ ］[J] となる。したがって，この過程で気体が受け取った熱エネルギーは［ エ ］[J] である。



［ ア ］の解答群

01 $\frac{h}{R}\left(\frac{1}{4}mg+kh\right)$　　02 $\frac{h}{R}\left(\frac{1}{2}mg+kh\right)$

03 $\frac{h}{R}(mg+kh)$　　04 $\frac{h}{R}\left(2mg+\frac{1}{4}kh\right)$

05 $\frac{h}{R}\left(2mg+\frac{1}{2}kh\right)$　　06 $\frac{h}{R}(2mg+kh)$

07 $\frac{h}{4R}(mg+kh)$　　08 $\frac{h}{2R}(mg+kh)$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

09 $\dfrac{h}{2R}\left(\dfrac{1}{2}mg+kh\right)$　　10 $\dfrac{h}{R}(mg+2kh)$

11 $\dfrac{h}{R}\left(\dfrac{1}{2}mg+2kh\right)$　　12 $\dfrac{h}{R}\left(\dfrac{1}{4}mg+2kh\right)$

[イ]の解答群

01 $\dfrac{2}{5}$　　02 $\dfrac{1}{2}$　　03 $\dfrac{3}{5}$　　04 $\dfrac{3}{4}$

05 $\dfrac{4}{5}$　　06 1　　07 $\dfrac{6}{5}$　　08 $\dfrac{5}{4}$

09 $\dfrac{7}{5}$　　10 $\dfrac{3}{2}$　　11 $\dfrac{8}{5}$　　12 $\dfrac{7}{4}$

[ウ]の解答群

01 $\dfrac{3}{32}kh^2+\dfrac{1}{4}mgh$　　02 $\dfrac{3}{32}kh^2+\dfrac{1}{3}mgh$

03 $\dfrac{3}{32}kh^2+\dfrac{1}{2}mgh$　　04 $\dfrac{1}{8}kh^2+\dfrac{1}{4}mgh$

05 $\dfrac{1}{8}kh^2+\dfrac{1}{2}mgh$　　06 $\dfrac{1}{8}kh^2+mgh$

07 $\dfrac{9}{32}kh^2+\dfrac{1}{8}mgh$　　08 $\dfrac{9}{32}kh^2+\dfrac{1}{4}mgh$

09 $\dfrac{9}{32}kh^2+\dfrac{1}{2}mgh$　　10 $\dfrac{9}{16}kh^2+\dfrac{1}{8}mgh$

11 $\dfrac{9}{16}kh^2+\dfrac{1}{2}mgh$　　12 $\dfrac{9}{16}kh^2+mgh$

[エ]の解答群

01 $\dfrac{11}{32}kh^2+\dfrac{11}{4}mgh$　　02 $\dfrac{11}{32}kh^2+\dfrac{9}{4}mgh$

03 $\dfrac{11}{32}kh^2+\dfrac{5}{4}mgh$　　04 $\dfrac{19}{32}kh^2+\dfrac{9}{4}mgh$

05 $\dfrac{19}{32}kh^2+\dfrac{7}{4}mgh$　　06 $\dfrac{19}{32}kh^2+\dfrac{5}{4}mgh$

07 $\dfrac{33}{32}kh^2+\dfrac{9}{4}mgh$　　08 $\dfrac{33}{32}kh^2+2mgh$

09 $\dfrac{33}{32}kh^2+\dfrac{7}{4}mgh$　　10 $\dfrac{57}{32}kh^2+\dfrac{7}{4}mgh$

11 $\dfrac{57}{32}kh^2+\dfrac{3}{4}mgh$　　12 $\dfrac{57}{32}kh^2+\dfrac{1}{4}mgh$

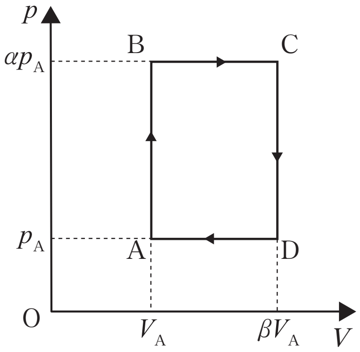
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第29講　熱サイクルと熱効率

1

［　　］にあてはまる最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。

図は n [mol] の単原子分子理想気体からなる熱機関のサイクル A → B → C → D → A における体積 V と圧力 p の関係を示す。状態 A では圧力 p_A [Pa]，体積 V_A [m^3]，絶対温度 T_A [K] である。また，状態 B と C の圧力は αp_A，状態 C と D の体積は βV_A であり，状態 B の体積と状態 D の圧力はそれぞれ状態 A の体積と圧力に等しい。ただし，$\alpha > \beta > 1$ とし，気体定数を R [J/mol·K] とする。



(1)　状態 A，B，C，D の絶対温度 T_A，T_B，T_C，T_D の大小関係として正しいものは［ア］である。

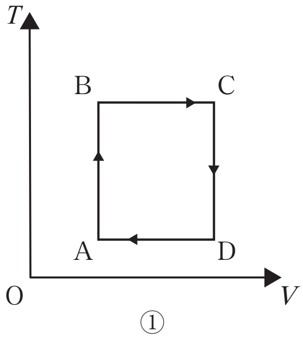
［ア］の解答群

① $T_A = T_D < T_B = T_C$　　② $T_A < T_B < T_D < T_C$

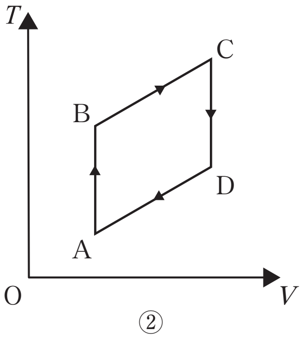
③ $T_A < T_D < T_B < T_C$　　④ $T_A < T_D < T_C < T_B$

(2)　このサイクルにおける体積 V と絶対温度 T との関係を表すグラフは［イ］である。

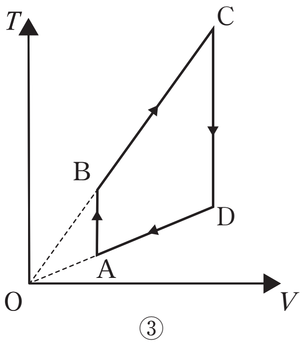
［イ］の解答群



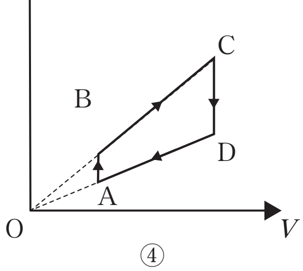
①



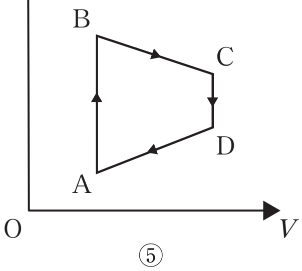
②



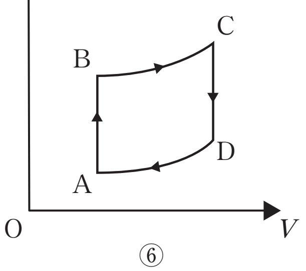
③



④



⑤



⑥

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)　A → B → C の過程で気体が外部から吸収した熱量 Q_1 [J] は［ウ］である。

［ウ］の解答群

① $\frac{3}{2}\beta(\alpha-1)nRT_A$　② $\frac{5\alpha\beta-2\alpha-3}{2}nRT_A$

③ $\frac{3\alpha+5\beta-8}{2}nRT_A$　④ $\frac{3}{2}(\alpha\beta-1)nRT_A$

⑤ $\frac{5}{2}\alpha(\beta-1)nRT_A$　⑥ $\frac{5}{2}(\alpha\beta-1)nRT_A$

(4)　C → D → A の過程で，気体が外部に放出した熱量 Q_2 [J] は［エ］である。

［エ］の解答群

① $\frac{3}{2}\beta(\alpha-1)nRT_A$　② $\frac{3}{2}(\alpha\beta-1)nRT_A$

③ $\frac{5}{2}\alpha(\beta-1)nRT_A$　④ $\frac{3\alpha+5\beta-8}{2}nRT_A$

⑤ $\frac{3\alpha\beta+2\beta-5}{2}nRT_A$　⑥ $\frac{5}{2}(\alpha\beta-1)nRT_A$

(5)　1サイクル A → B → C → D → A の間に気体が外部に対してした仕事の総量 W [J] は［オ］である。

［オ］の解答群

① $\alpha\beta nRT_A$　② $(\alpha-1)(\beta-1)nRT_A$

③ $\alpha(\beta-1)nRT_A$　④ $\beta(\alpha-1)nRT_A$

⑤ $\frac{3}{2}(\alpha-1)(\beta-1)nRT_A$　⑥ $\frac{5}{2}(\alpha-1)(\beta-1)nRT_A$

(6)　この熱機関の熱効率 e は［カ］となる。

［カ］の解答群

① $\frac{2\alpha\beta}{3\alpha+5\beta-8}$　② $\frac{2\alpha(\beta-1)}{3\alpha+5\beta-8}$

③ $\frac{2\alpha\beta}{3(\alpha\beta-1)}$　④ $\frac{2(\alpha-1)(\beta-1)}{5(\alpha\beta-1)}$

⑤ $\frac{2(\alpha-1)(\beta-1)}{5\alpha\beta-2\alpha-3}$　⑥ $\frac{2\alpha\beta}{3\alpha\beta+2\beta-5}$

⑦ $\frac{2(\alpha-1)(\beta-1)}{3(\alpha\beta-1)}$　⑧ $\frac{2\alpha(\beta-1)}{3\beta(\alpha-1)}$

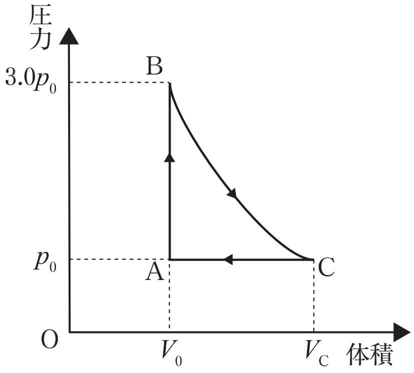
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

ピストンのついたシリンダーに定積モル比熱が$\frac{3}{2}R$の理想気体を一定量 n [mol] 入れ，その圧力 p と体積 V を，図に示すように A → B → C → A と変化させる。ここで，B → C は断熱変化で，状態 C の温度は状態 B の温度の 0.64 倍となった。状態 A の圧力および体積を p_0 および V_0，状態 B の圧力を $3.0p_0$ としたとき，以下の問に p_0，V_0，n，R を用いて答えよ。ただし，R は気体定数である。



(1)　状態 A，B の温度 T_A と T_B を求めよ。

(2)　A → B の変化で気体に加えられた熱量 Q_{AB} を求めよ。

(3)　B → C の変化で気体がした仕事 W_{BC} を求めよ。

(4)　C → A の変化で気体がした仕事 W_{CA} を求めよ。

(5)　A → B → C → A のサイクルを熱機関と考えた場合に，熱効率 e を計算して有効数字 2 桁で％で表せ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⓒRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

次の問題の［　　］の中に入れるべき正しい答を，それぞれの解答群の中から選びなさい。必要なら同一番号をくり返し用いてよい。

温度と体積を自由に増減させることができる装置に，1 mol の単原子分子理想気体を閉じ込めた。最初，気体の体積は V_1 で温度は T_1 であった。この装置を用いて，次の操作1から4を順に行うと，気体に与えた熱を仕事に変化させることができる。

操作1　体積を V_1 に保ったまま，気体の温度を T_1 から T_2 まで増加させる。
操作2　温度を T_2 に保ったまま，体積を V_1 から V_2 まで増加させる。
操作3　体積を V_2 に保ったまま，気体の温度を T_2 から T_1 まで減少させる。
操作4　温度を T_1 に保ったまま，体積を V_2 から V_1 まで減少させる。

4つの操作について外部から気体に与えた熱量と気体がした仕事に注目して以下の計算を行った。ただし気体定数を R とする。また，仕事の計算では，気体が外部に対して仕事をした場合を正とする。

(1)

操作1から操作4までの気体の状態変化を，横軸が体積 V，縦軸は圧力 p のグラフに表現すると，［(ア)］のようになる。

(2)

操作1を行うと，気体の内部エネルギーは［(イ)］だけ増加する。一方，操作1で気体が外部にした仕事 W_1 は［(ウ)］なので，外部から気体に与えられた熱量 Q_1 は［(エ)］である。

(3)

操作2，操作4の過程では，気体はそれぞれ W_2，W_4 の仕事をしているが，それぞれ直接計算して求めることは難しい。しかし，二つの操作ではそれぞれ温度が一定であることと，体積の変化の大きさが同じであることに注意すると，仕事の比は $\dfrac{W_4}{W_2}=$［(オ)］と簡単に表すことができる。この二つの過程のうち，気体に外部から熱が与えられたのは［(カ)］であり，その熱量は［(キ)］に等しい。

(4)

操作1から操作4を順番に行うと，装置自身はもとの状態にもどり，与えられた熱の一部が仕事に変化する。このような操作をくり返し行い熱を仕事に変える装置を一般に熱機関という。操作1から操作4まで状態変化を一周行う間に，熱機関内の気体は外部から熱量 Q_{IN}

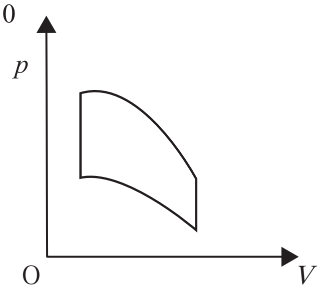
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

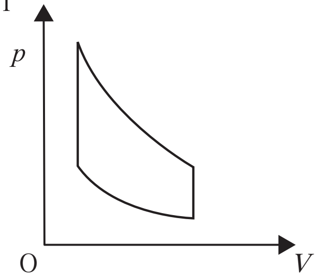
＜ Note ＞

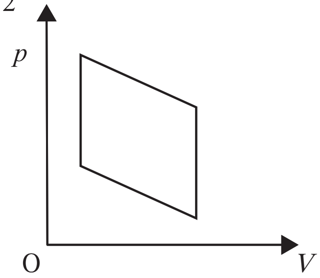
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

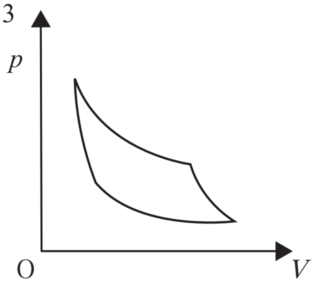
を与えられ，その一部で仕事をし，残りの熱量 Q_{OUT} を外部に放出する。熱機関がした仕事の合計を W_{N} とすると，熱機関の効率 e は，$e=\dfrac{W_{\mathrm{N}}}{Q_{\mathrm{IN}}}$ で定義される。操作3はこの装置が熱を ［(ク)］ 過程であることに注意し，今まで計算した結果を用いると，$e=$ ［(ケ)］ となる。この熱機関では体積の変化（V_1 と V_2 の差）が非常に大きくなるように装置を作ると効率がよくなることが知られており，そのときは $e\fallingdotseq$ ［(コ)］ と簡単に表すことができる。

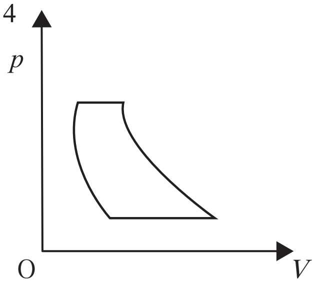
［(ア)］の解答群

0


1


2


3


4


［(イ)］，［(ウ)］，［(エ)］の解答群

0　0

1　$\dfrac{1}{2}R(T_2-T_1)$

2　$\dfrac{1}{2}R(T_1-T_2)$

3　$R(T_2-T_1)$

4　$\dfrac{3}{2}R(T_2-T_1)$

5　$\dfrac{3}{2}R(T_1-T_2)$

6　$\dfrac{5}{2}R(T_2-T_1)$

7　$\dfrac{RT_1}{V_1}(V_2-V_1)$

8　$\dfrac{RT_2}{V_1}(V_2-V_1)$

9　$\dfrac{RT_1}{V_1}(V_2-V_1)+\dfrac{3}{2}R(T_1-T_2)$

10　$\dfrac{RT_2}{V_1}(V_2-V_1)+\dfrac{5}{2}R(T_2-T_1)$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(オ) の解答群

0 $-\dfrac{T_1V_1}{T_2V_2}$　1 $-\dfrac{3T_1}{5T_2}$　2 $\left(\dfrac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{5}{3}}$　3 $-\dfrac{V_1}{V_2}$

4 $\dfrac{3T_1}{5T_2}$　5 $-\dfrac{T_1}{T_2}$　6 $\dfrac{T_2V_1}{T_1V_2}$　7 $-\dfrac{T_2(V_1)^{\frac{1}{3}}}{T_1(V_2)^{\frac{1}{3}}}$

8 $-\dfrac{T_2-T_1}{T_1+T_2}$　9 $-\left(\dfrac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{5}{3}}$　10 $\dfrac{T_1V_1}{T_2V_2}$

(カ) の解答群

0　操作2　1　操作4

(キ) の解答群

0 W_1　1 W_2　2 W_4　3 Q_1

(ク) の解答群

0　吸収する　1　変化させない　2　放出する

(ケ) の解答群

0 $\dfrac{W_2+W_4}{Q_1}$　1 $\dfrac{W_1+W_4}{Q_1}$　2 $\dfrac{W_1+W_2}{2Q_1}$　3 $\dfrac{W_1+W_4}{2Q_1}$

4 $\dfrac{W_2+W_4}{2Q_1}$　5 $\dfrac{W_1+W_4}{W_2+Q_1}$　6 $\dfrac{W_2+W_4}{W_2+Q_1}$　7 $\dfrac{W_2+W_4}{W_4+Q_1}$

8 $\dfrac{W_1+W_2}{W_4+Q_1}$　9 $\dfrac{2W_1+W_2+W_4}{W_1+2Q_1}$　10 $\dfrac{W_1+W_2+W_4}{W_1+2Q_1}$

(コ) の解答群

0 $\dfrac{1}{3}$　1 $\dfrac{3}{5}-\left(\dfrac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{5}{3}}$　2 $1-\dfrac{V_1}{V_2}$　3 $\dfrac{2}{3}$

4 $\dfrac{5T_2-3T_1}{5T_2}$　5 $\dfrac{5V_2-3V_1}{5V_2}$　6 $1-\left(\dfrac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{5}{3}}$　7 $\dfrac{3T_2-5T_1}{5T_2}$

8 $1-\dfrac{T_1}{T_2}$　9 $\dfrac{V_2-V_1}{V_1+V_2}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

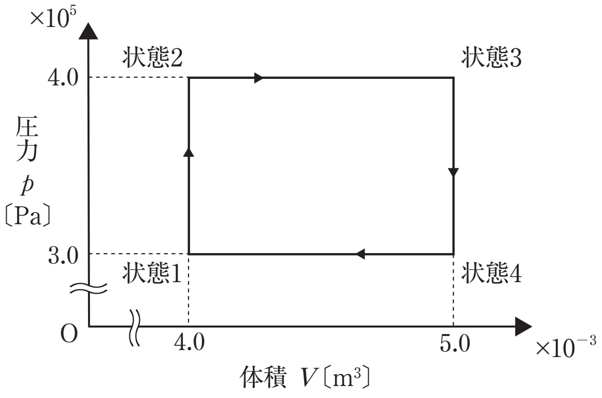
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第29講　確認テスト

図に示すような状態変化を繰り返す熱機関に0.5molの理想気体が入っている。この気体の定積モル比熱を C_V=12.5 J/mol·K として，次の問に答えよ。



(1)　このサイクルでの最高温度は500Kである。
　各状態での温度は，状態1，状態2，状態3，状態4の順にそれぞれ何Kか。

(2)　状態2から状態3に変化する間に気体がした仕事は何Jか。

(3)　状態4から状態1に変化する間に気体にされた仕事は何Jか。

(4)　状態1から状態2に変化する間に気体に与えられた熱量は何Jか。

(5)　状態2から状態3に変化する間に気体に与えられた熱量は何Jか。

(6)　この熱機関の効率はおよそ何%か。

(1) の解答群

① (300, 375, 400, 500)　② (300, 400, 500, 375)
③ (300, 500, 400, 375)　④ (500, 400, 375, 300)
⑤ (500, 300, 375, 400)

(2) と (3) の解答群

① 2×10^2　② 3×10^2　③ 4×10^2　④ 2×10^3
⑤ 3×10^3　⑥ 4×10^3

(4) と (5) の解答群

① 1025　② 925　③ 825　④ 725
⑤ 625　⑥ 525

(6) の解答群

① 6.1　② 6.5　③ 7.4　④ 61
⑤ 65　⑥ 74

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 30 講　断熱変化を含む過程

1

□にあてはまる最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。

1 [mol] の単原子分子理想気体からなる熱機関がある。以下の過程１～４で気体の状態を A → B → C → D → A の順に変化させた。始めの状態 A での気体の体積を V_0 [m^3]，圧力を P_0 [Pa]，温度を T_0 [K] とする。

（過程１）　圧力を P_0 [Pa] に保って，温度を T_1 [K] に上昇させると，体積は V_1 [m^3] になった。（状態 B）

（過程２）　温度を一定に保って，気体を V_2 [m^3] に膨張させると，圧力は P_1 [Pa] になった。（状態 C）

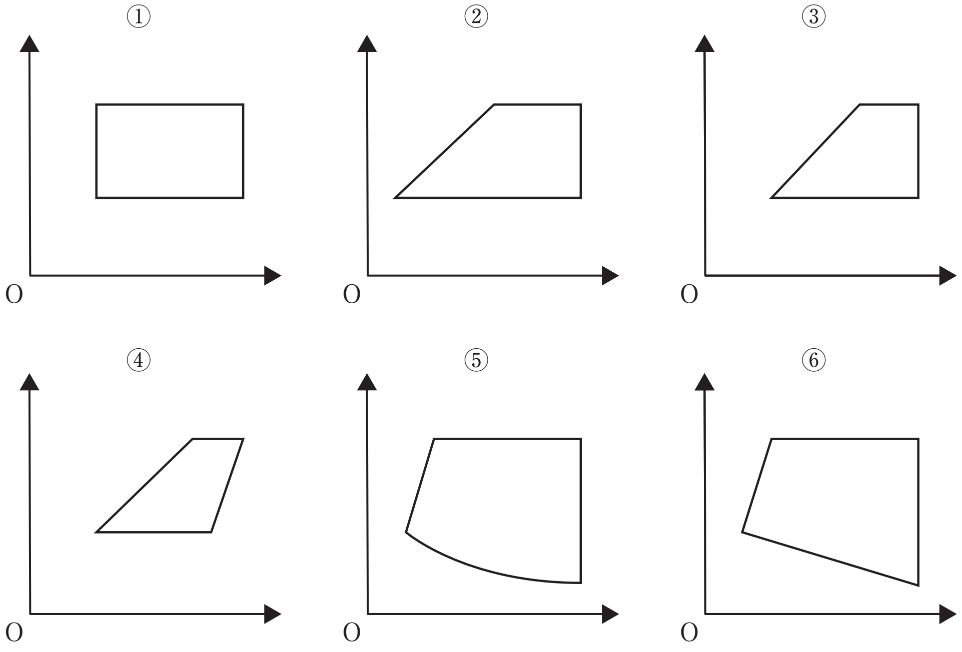
（過程３）　体積を一定に保って，温度を T_2 [K] まで低下させると，圧力は P_2 [Pa] になった。（状態 D）

（過程４）　断熱圧縮すると最初の状態 A に戻った。

なお，断熱過程では圧力 P と体積 V の間に $PV^{\frac{5}{3}} =$ 一定の関係があるとする。

(1)　これらの過程での圧力 P と体積 V との関係を表すグラフは［ア］，絶対温度 T と体積 V との関係を表すグラフは［イ］である。ただし，いずれも横軸は体積 V である。

［ア］，［イ］の解答群

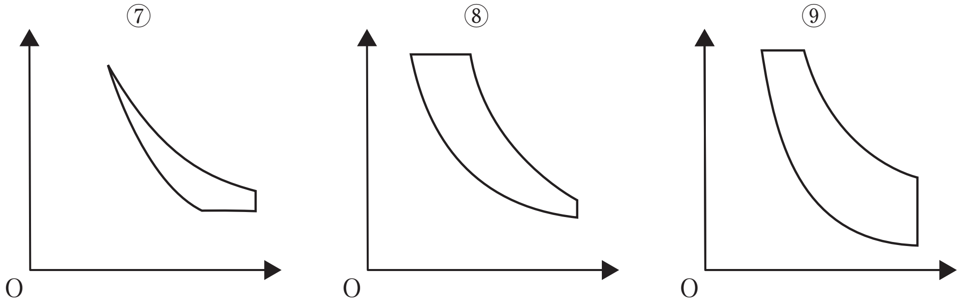


ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

⑦ ⑧ ⑨



(2)　過程1で気体が吸収した熱量は［ウ］$\times P_0(V_1-V_0)$ [J]，気体が外部にした仕事は［エ］$\times P_0(V_1-V_0)$ [J] である。

また，過程3で気体が放出した熱量は［オ］$\times (P_1-P_2)V_2$ [J] である。

［ウ］～［オ］の解答群

① $\frac{1}{2}$　② $\frac{3}{2}$　③ $\frac{5}{2}$　④ $\frac{7}{2}$　⑤ 1　⑥ 2

⑦ 3　⑧ $\frac{5}{3}$　⑨ $\frac{7}{5}$

(3)　T_1 は T_0 の2倍，T_2 は T_0 の $\frac{1}{4}$ 倍であったとすると，

$P_1=$［カ］$\times P_0$，$P_2=$［キ］$\times P_0$，$V_1=$［ク］$\times V_0$，$V_2=$［ケ］$\times V_0$

となる。

［カ］～［ケ］の解答群

① $\frac{1}{32}$　② $\frac{1}{16}$　③ $\frac{1}{8}$　④ $\frac{1}{4}$　⑤ $\frac{1}{2}$　⑥ 1

⑦ 2　⑧ 4　⑨ 8　⓪ 16

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

熱を通さないシリンダーと，熱を通さない断面積 S，質量 M のピストンがある。シリンダーとピストンの間から気体はもれず，ピストンはなめらかに動くものとする。シリンダー内部には圧力 p，温度 T の理想気体があり，ピストンはシリンダーの底面から高さ L で静止している（図１）。気体の定積モル比熱を C_V，重力加速度の大きさを g，気体定数を R，外気の大気圧は無視できるものとして，下の問に答えよ。

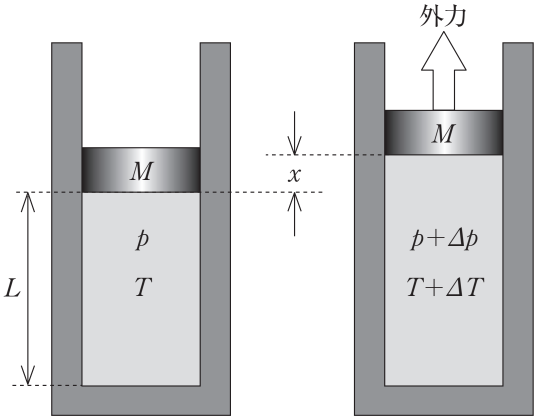


図１　　　図２

(1) 図１のように，ピストンにはたらく重力と気体の圧力による力がつり合っているとき，シリンダー内部の気体の圧力 p はいくらか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。$p=$ 1

① Mg　② MgL　③ MgS　④ $\dfrac{Mg}{S}$　⑤ $\dfrac{Mg}{L}$　⑥ $\dfrac{Mg}{LS}$

(2) ピストンが静止している状態から，ピストンに外力を加えてわずかな距離 x だけ持ち上げたところ（図２），理想気体の圧力と温度は，それぞれ，$p+\Delta p$，$T+\Delta T$ になった。状態方程式を用いると，圧力の変化の割合 $\dfrac{\Delta p}{p}$ と温度の変化の割合 $\dfrac{\Delta T}{T}$ の間には，$\dfrac{\Delta p}{p}=$ 2 の関係がある。 2 に入れるのに正しい式を，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，a，b が１に対してじゅうぶん小さいとき，$(1+a)(1+b)\fallingdotseq 1+a+b$ と近似してよい。

① $\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{x}{L}$　② $\dfrac{\Delta T}{T}-\dfrac{x}{L}$　③ $\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{xL}{S}$　④ $\dfrac{\Delta T}{T}-\dfrac{xL}{S}$

⑤ $-\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{x}{L}$　⑥ $-\dfrac{\Delta T}{T}-\dfrac{x}{L}$　⑦ $-\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{xL}{S}$　⑧ $-\dfrac{\Delta T}{T}-\dfrac{xL}{S}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)　熱の出入りはないので，ピストンを x だけ持ち上げると気体は断熱変化する。このとき温度変化の割合 $\dfrac{\Delta T}{T}$ はどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。$\dfrac{\Delta T}{T}=$ [3]

① $-\dfrac{R}{C_V L}x$　② $\dfrac{R}{C_V L}x$　③ $-\dfrac{C_V}{RL}x$　④ $\dfrac{C_V}{RL}x$

⑤ $-\dfrac{R}{(C_V+R)L}x$　⑥ $\dfrac{R}{(C_V+R)L}x$　⑦ $-\dfrac{C_V+R}{RL}x$　⑧ $\dfrac{C_V+R}{RL}x$

(4)　このときピストンに加えている鉛直方向の外力の大きさはいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。[4]

① $\dfrac{RMg}{C_V L}x$　② $\dfrac{RMgL}{C_V S}x$　③ $\dfrac{C_V Mg}{RL}x$　④ $\dfrac{C_V MgL}{RS}x$

⑤ $\dfrac{C_V Mg}{(C_V+R)L}x$　⑥ $\dfrac{C_V MgL}{(C_V+R)S}x$　⑦ $\dfrac{(C_V+R)Mg}{C_V L}x$　⑧ $\dfrac{(C_V+R)MgL}{C_V S}x$

(5)　ピストンに加えていた外力を取り去れば，ピストンは単振動を始める。このときの単振動の周期はいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。[5]

① $2\pi\sqrt{\dfrac{C_V L}{gR}}$　② $2\pi\sqrt{\dfrac{C_V S}{gLR}}$　③ $2\pi\sqrt{\dfrac{RL}{gC_V}}$

④ $2\pi\sqrt{\dfrac{RS}{gC_V L}}$　⑤ $2\pi\sqrt{\dfrac{(C_V+R)L}{gC_V}}$　⑥ $2\pi\sqrt{\dfrac{(C_V+R)S}{gC_V L}}$

⑦ $2\pi\sqrt{\dfrac{C_V L}{g(C_V+R)}}$　⑧ $2\pi\sqrt{\dfrac{C_V S}{g(C_V+R)L}}$

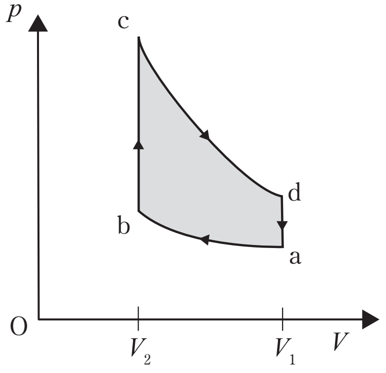
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

なめらかなピストンを備えた容器に1モルの理想気体を入れ，図のように状態をａ→ｂ→ｃ→ｄ→ａと1サイクル変化させた。図の V と p はそれぞれ気体の体積と圧力である。ａ→ｂとｃ→ｄは断熱変化であり，ｂ→ｃとｄ→ａは定積変化である。状態ａ，ｂ，ｃ，ｄにおける温度をそれぞれ T_a，T_b，T_c，T_d とし，状態ａ，ｂにおける気体の体積をそれぞれ V_1，V_2 とする。断熱変化では $pV^\gamma=$ 一定 $\left(\gamma=\dfrac{C_p}{C_V}\right)$ が成立するものとする。ただし，C_V は定積モル比熱，C_p は定圧モル比熱である。この熱機関について，熱効率 e を求めよ。答えの式は T_a，T_b，T_c，T_d を含まない形にせよ。ただし，導出過程においては T_a，T_b，T_c，T_d を用いてよい。



ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

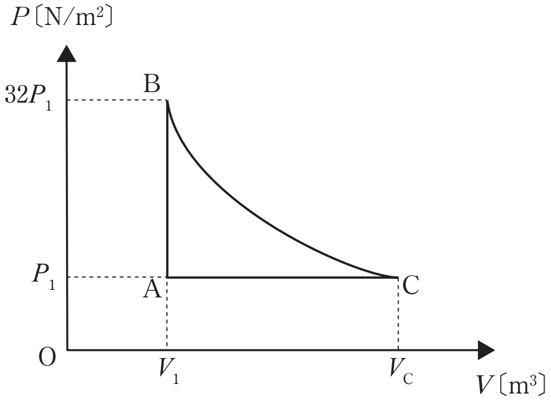
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第30講　確認テスト

以下の[1]〜[8]にあてはまる答えを各解答群から1つ選びなさい。ただし，同じ番号の解答を繰りかえし選んでもよい。

次の図のように圧力 P_1 [N/m^2]，体積 V_1 [m^3] の状態Aにある1molの単原子分子理想気体（以下気体とよぶ）の状態を，A→B→C→Aの順に変化させる。このときB→Cは断熱変化である。気体定数を R [J/mol·K] として，以下の問に答えよ。なお単原子分子理想気体の場合の比熱比は $\gamma=\dfrac{5}{3}$ である。また，必要であれば $8^{\frac{5}{3}}=32$ を用いよ。



状態Aの温度は，[1] $\times\dfrac{P_1V_1}{R}$ [K] である。

A→Bの過程は，定積変化である。この過程で気体に加えられた熱量は，[2] $\times P_1V_1$ [J] である。

B→Cの過程は断熱膨張である。断熱変化においては体積 V，温度 T，圧力 P の間に $PV^{\gamma}=$ 一定あるいは $TV^{\gamma-1}=$ 一定の関係があるので，状態Cの体積は [3] $\times V_1$ [m^3] で，温度は [4] $\times\dfrac{P_1V_1}{R}$ [K] である。この過程で気体が外部にした仕事は [5] $\times P_1V_1$ [J] である。

C→Aの過程は定圧変化である。この過程では，気体は外部から [6] $\times P_1V_1$ [J] の仕事をされるとともに外部に熱量 [7] $\times P_1V_1$ [J] を放出する。

このA→B→C→Aのサイクルを熱機関と考えたときの熱効率は，[8] である。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

[1]～[8]の解答群

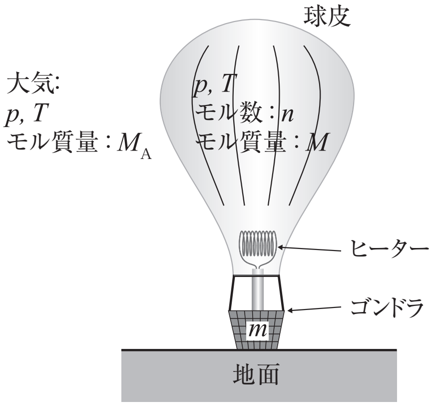
(1) $\frac{35}{93}$	(2) $\frac{16}{31}$	(3) $\frac{58}{93}$	(4) $\frac{24}{31}$
(5) 1	(6) 2	(7) 3	(8) 7
(9) 8	(0) 9	(a) 18	(b) $\frac{35}{2}$
(c) $\frac{93}{4}$	(d) 24	(e) 31	(f) 32
(g) 36	(h) $\frac{93}{2}$	(i) 42	(j) 48

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第31講　総合演習4

1

図のように，断熱素材でできた球皮とゴンドラ等からなる気球が地面に置かれて浮上せず静止している。大気（空気）は温度 T [K] の理想気体とみなすことができる。大気の圧力は重力のため高度が低いほど高いが，ここではまず，その圧力の高度依存性を無視して気球の中心の高度での大気の圧力 p [Pa] で近似する。一方，密閉された球皮内には大気と同じ圧力 p と温度 T を持つ単原子理想気体 n [mol] が入っており，球皮内の気体の内部エネルギー U [J] は，気体定数 R [J/mol·K] を用いて，$U=\dfrac{3}{2}nRT$ と書くことができる。球皮は最初十分にしぼんだ状態であり，球皮内に装着されたヒーターにより，球皮内の気体の温度を上昇させ気体の体積を膨張させることができる。このとき，球皮内の気体の圧力と大気圧は常に釣り合っているとする。以下の文章の [(1)] から [(10)] に適切な数式を入れ，[(11)] には有効数字2ケタの数値を入れよ。



問1

球皮内の気体の体積は，状態方程式より [(1)] [m^3] と書くことができる。いまヒーターによって熱量 Q [J] をゆっくり気体に与えたところ，気体の温度と体積がそれぞれ $\varDelta T$ [K] および $\varDelta V$ [m^3] だけ変化した。この過程で球皮内の気体が外部にした仕事は [(2)] [J] であり，その内部エネルギーの変化は [(3)] [J] となる。したがって，熱力学第一法則より，Q は $\varDelta T$ および $\varDelta V$ を用いて $Q=$ [(4)] [J] と表せる。この式と状態方程式より，球皮内の気体の定圧モル比熱 C_p [J/mol·K]（圧力一定の条件で1 mol の気体を単位温度上昇させるのに必要な熱量）は R を用いて $C_p=$ [(5)] [J/mol·K] と書くことができる。

ゴンドラの質量を m [kg]，球皮内の気体と空気のモル質量（1 mol 当りの質量）をそれぞれ M [kg/mol] および M_A [kg/mol] とし，重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。また，気球の質量は球皮内の気体とゴンドラの質量のみを考慮し，ほかは全て無視せよ。気球の体積は球皮内の気体の体積のみを考慮し，ほかは全て無視せよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問 2

気球に働く重力の大きさは [(6)] [N] である。一方，気球を図の状態から温めて体積が V_B [m^3] になったとすると，この体積 V_B を占めていた空気のモル数は，T と p を用いて [(7)] [mol] と表せる。重力のため大気の圧力は下方ほど高い。このことから浮力が生じる。浮力の大きさはアルキメデスの原理から正確に求められ，気球に働く浮力の大きさは [(8)] [N] となる。以上より，気球を浮上させるにはその体積 V_B を [(9)] [m^3] より大きくする必要があり，気球に [(10)] T [J] より多い熱量を与えなければならない。

例として $M = 4.0\times10^{-3}$ [kg/mol] のヘリウムガス 4000 [mol] を用いた気球の場合を考える。空気のモル質量は $M_A = 29\times10^{-3}$ [kg/mol] である。大気の温度が $T = 300$ [K] の場合に，$m = 124$ [kg] のゴンドラをつけた気球を浮上させるためには，ヘリウムガスの温度を [(11)] [K] より高くする必要がある。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

理想気体とみなせる1molの気体（単原子分子気体とは限らない）が，なめらかに動くピストンでシリンダー内に閉じ込められている。この気体の状態を下記のように過程Ⅰ～Ⅳによって，状態1→2→3→4→1と変化させた。

状態1：気体の体積 V_1，温度 $T_1=400$ [K]，圧力 $p_1=100$ [kPa]

過程Ⅰ：状態1から状態2へ気体を体積一定で変化させた。

状態2：気体の体積 $V_2=V_1$，温度 $T_2=500$ [K]，圧力 p_2

過程Ⅱ：状態2から状態3へ気体を断熱変化させた。

状態3：気体の体積 V_3，温度 $T_3=600$ [K]，圧力 p_3

過程Ⅲ：状態3から状態4へ気体を体積一定で変化させ，圧力を100 [kPa]（$=p_1$）にした。

状態4：気体の体積 $V_4=V_3$，温度 T_4，圧力 $p_4=p_1$

過程Ⅳ：気体を圧力一定の過程で状態4から状態1にもどした。

過程Ⅰ～Ⅳは常に平衡状態を保ちながら行われ，断熱変化では圧力 p と体積 V の間に $pV^{\gamma}=$ 一定の関係が保たれている。ここで γ は1より大きい定数である。気体の定積モル比熱を c [J/(mol·K)] とする。熱量および仕事の符号は，気体に熱量を与えた場合および気体に仕事をした場合に正とする。以下の設問に答えなさい。ただし，気体定数を $R=a$ [J/(mol·K)] とし，$\left(\frac{6}{5}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}=b$ とおく。γ，a，b，c は単位を含まない数値である。設問(2)，(3)，(4)は解答欄（省略）に与えられた単位を用いて数値で答えなさい（a，b，c は記号のまま用いること）。単位を含む気体定数の記号を用いないように注意しなさい。

(1)　断熱変化の過程における $pV^{\gamma}=$ 一定の関係を，圧力 p と温度 T のみの V を含まない関係で表すと $pT^{\alpha}=$ 一定と書ける。α を γ で表しなさい。

(2)　p_3 を求めなさい。

(3)　過程Ⅰ～Ⅳのそれぞれにおいて外部からこの気体にした仕事を求めなさい。

(4)　状態4から状態1に変化する過程Ⅳで，外部から気体に与えた熱量および気体の温度変化 T_1-T_4 を求め，この気体の定圧モル比熱を求めなさい。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図1のように断面積 S, 長さ $2L$ の断熱された円筒容器が水平に置かれている。容器内にあるバネは自然長 L, ばね定数 k で，このばねは断熱材で作られた薄いピストンと容器に固定されている。ここで，ピストンで区切られた容器の左側を A，右側を B とする。ピストンと容器間は摩擦がなく，はじめ容器内はすべて真空である。

いま連結管のコック D を閉じ，A に 1 mol の単原子分子理想気体を入れたところ，ピストンは $\frac{L}{3}$ だけ右に移動して静止した（図2）。ここでピストンとばねの質量，連結管の容積はともに無視できる。また，円筒容器，ばね，ピストンの熱容量も無視できる。気体定数を R として以下の各問に答えなさい。

図1

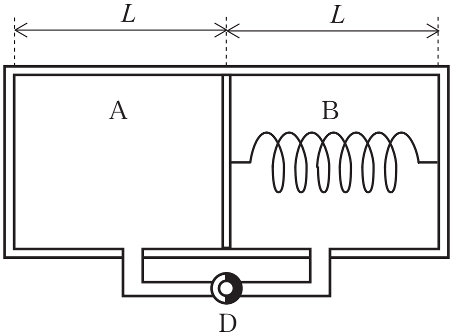
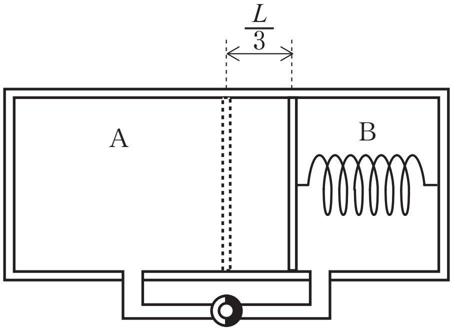


図2



(1)　A の気体の圧力 P_1 と温度 T_1 を求めなさい。

(1)の状態を保ったままピストンを動かないように固定した。この後 B に A と同じ種類の気体を $\frac{1}{3}$ mol 入れたところ，B の気体の圧力は A の気体の圧力の $\frac{1}{3}$ になった。

(2)　B の気体の温度 T_2 を T_1 を用いて求めなさい。

(3)　コック D を開き十分時間が経過した。このときの気体の温度 T_3 を T_1 を用いて求めなさい。

(4)　ピストンを自由に運動できるようにしたところ，ピストンはしばらく運動をした後に完全に静止し，気体の温度が ΔT だけ上昇した。ΔT を T_1 を用いて求めなさい。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

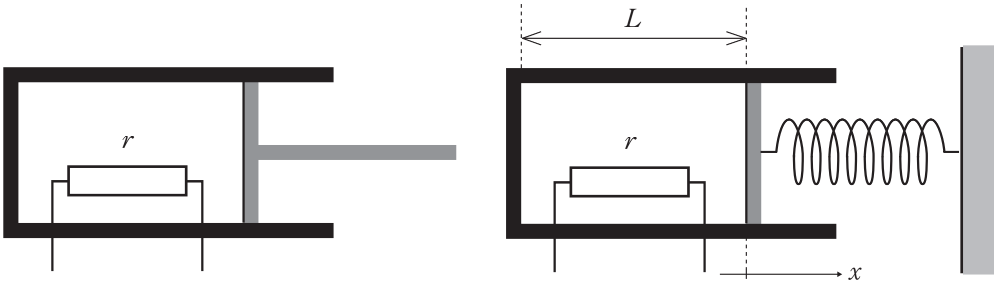
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第31講　確認テスト

[　　]にあてはまる最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。ただし，[カ]～[セ]には，最も適当な数値を記入すること。[カ]，[ケ]，[シ]には0以外の数字が入るものとする。

図(a)，図(b)のように，なめらかに動くピストンの付いた容器に，n [mol] の単原子分子理想気体が封入されている。容器内には r [Ω] の抵抗を持つ電熱線が取り付けてあり，外から電流を流すことができる。ピストンや容器は断熱材でできており，ピストンの断面積は S [m^2] とし，ピストンの質量は無視できるものとする。大気圧は p_0 [Pa]，気体定数は $R=8.3$ J/(mol·K) とし，容器のピストン以外の部分は動かないものとする。



図(a)　　図(b)

(1)　まず，図(a)の場合を考える。

(a)　電熱線に I [A] の一定電流を t 秒間流したとき，容器内の気体が電熱線から受けとる熱量 Q は[ア] [J] である。この間，気体が膨張してピストンが距離 x [m] だけ移動したとすると，気体の内部エネルギーの変化は[イ] [J] である。また，気体が外にした仕事 W は[ウ] [J] であり，これを気体が受けとる熱量 Q で表すと[エ]となる。

[ア]の解答群

① $\frac{1}{2}rI$　② rI　③ $\frac{1}{2}rI^2$　④ rI^2

⑤ $\frac{1}{2}rIt$　⑥ rIt　⑦ $2rIt$　⑧ $\frac{1}{2}rI^2t$

⑨ rI^2t

［イ］，［ウ］の解答群

① $\frac{1}{3}p_0Sx$　② $\frac{1}{2}p_0Sx$　③ $\frac{2}{3}p_0Sx$　④ p_0Sx

⑤ $\frac{3}{2}p_0Sx$　⑥ $2p_0Sx$　⑦ $\frac{5}{2}p_0Sx$　⑧ $\frac{5}{3}p_0Sx$

⑨ $\frac{7}{2}p_0Sx$

［エ］の解答群

① $\frac{1}{2}Q$　② $\frac{1}{3}Q$　③ $\frac{2}{3}Q$　④ $\frac{2}{5}Q$

⑤ $\frac{3}{5}Q$　⑥ $\frac{2}{7}Q$　⑦ Q　⑧ $\frac{3}{2}Q$

⑨ $\frac{5}{3}Q$

(b)　大気圧が $p_0=1.0\times10^5$ Pa，ピストンの断面積が $S=1.0\times10^{-2}$ m^2，電熱線の消費電力が20W であるとすると，ピストンが移動する速度は［オ］cm/s となる。

［オ］の解答群

① 0.33　② 0.50　③ 0.57　④ 0.67

⑤ 0.80　⑥ 1.0　⑦ 1.2　⑧ 1.3

⑨ 1.5

(2)　次に，図(b)のように，ピストンの外側にバネ定数 k [N/m] のバネが取り付けられている場合について考える。バネの一端はピストンに，他端は壁に固定されている。電熱線に電流を流す前は，容器の内側の左端からピストンまでの距離が $L=0.50$ m であり，このときバネは伸縮なく自然の長さであるものとする。以下では，大気圧は $p_0=1.0\times10^5$ Pa，ピストンの断面積は $S=1.0\times10^{-2}$ m^2 とする。

(c)　電熱線に I [A] の一定電流を t 秒間流したところ，容器内の気体が膨張してピストンが $x=0.10$ m 移動した。バネ定数が $k=2.0\times10^3$ N/m であるとすると，膨張後の容器内の気体の圧力 p は［カ］.［キ］$\times10^{［ク］}$ Pa であり，膨張の間に気体が外にした仕事は［ケ］.［コ］$\times10^{［サ］}$ J，気体の内部エネルギーの変化は［シ］.［ス］$\times10^{［セ］}$ J である。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第32講　クーロンの法則・電場と電位1

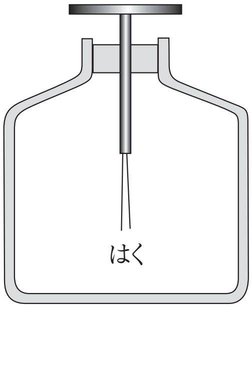
1

次の文章の〔　①　〕～〔　⑫　〕に当てはまる語句を入れよ。

原子では，その中心に位置する〔　①　〕のまわりを〔　②　〕が〔　③　〕力のもとで回っている。〔　②　〕の質量は〔　①　〕の質量に比べて非常に〔　④　〕。このため，〔　②　〕は比較的簡単に原子からはぎ取ることができる。はぎ取られた〔　②　〕を〔　⑤　〕という。物体どうしをこすり合わせると〔　②　〕が物体間を移動し〔　⑥　〕が発生する。たとえば，毛布でエボナイト棒をこするとエボナイト棒は負に，絹布でガラス棒をこするとガラス棒は正に帯電する。

はく検電器は物体が帯電している状態を調べる器具である。図のように，金属円板と2枚に重ねた「はく」が金属棒でつながれている。金属や「はく」は導体でできているため，〔　⑤　〕は移動しやすく，正や負に帯電させることができる。

はく検電器を用いた実験をしてみる。まず，帯電していないはく検電器の金属円板に絹布でこすったガラス棒を近づけると，はく検電器の「はく」は〔　⑦　〕。この状態で，金属円板に指を触れてアースすると「はく」は〔　⑧　〕。指を離してから，ガラス棒を遠ざけると，「はく」は〔　⑨　〕。このとき，はく検電器は〔　⑩　〕に帯電している。この状態で，はく検電器の金属円板に毛布でこすったエボナイト棒を近づけると，はく検電器の「はく」は〔　⑪　〕。この状態で，金属円板に指を触れてアースすると「はく」は〔　⑧　〕。指を離してから，エボナイト棒を遠ざけると，「はく」は〔　⑨　〕。このとき，はく検電器は〔　⑫　〕に帯電している。



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

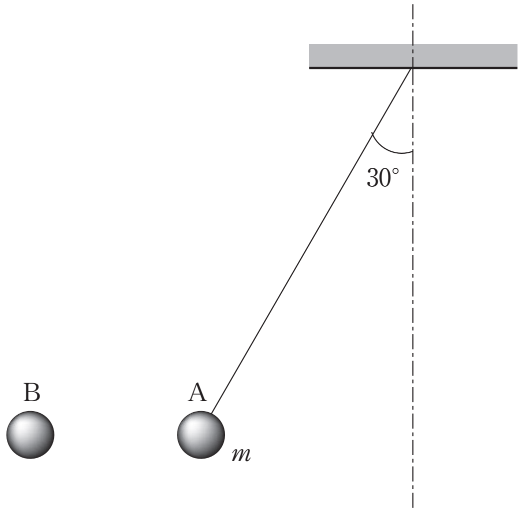
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

真空中において，質量 m，電荷 q（$q>0$）をもつ小球 A を絶縁体の糸につけ，糸の他端を天井に固定する。いま，電荷 $-2q$ をもつ小球 B を A に水平方向から近づけ BA 間の距離を調節すると，糸は鉛直方向と 30° の角をなしてつりあった。クーロン力の比例定数を k，重力加速度の大きさは g とする。

(1)　BA 間の距離はいくらか。

(2)　小球 B の代わりに水平左向きの電場を加えて，同じ位置に小球 A を静止させたい。そのためには加える電場の強さはいくらであればよいか。



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

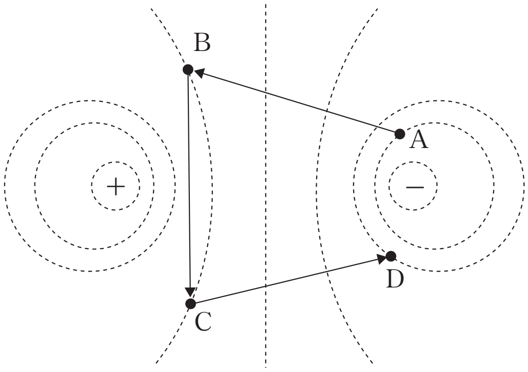
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

電荷に静電気力をおよぼす空間を電界（電場）と呼ぶ。強さ E [N/C] の一様な電界中において電荷 q [C] が電界の向きにそって距離 d [m] だけ進むと，電荷が電界から受ける仕事 W [J] は $W=$ [1] と表される。

電界の中で微小な正電荷が，電界から受ける力の向きに少しずつ移動したときに描く軌跡を [a] と呼ぶ。[a] が密集しているところほど電界が [b]。

次図の破線は固定された正，負等量の電荷のまわりの 2.0 V ごとの [c] を表している。3.0×10^{-8} C の正電荷を A から D まで実線の経路にそって運ぶとき，外力がする仕事は，A → B の区間で [2] J，B → C の区間で [3] J，C → D の区間で [4] J である。



(1)　文中の [a] ～ [c] に適切な語句を入れよ。

(2)　文中の [1] ～ [4] に適切な式または数値を入れよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第32講　確認テスト

二つの点電荷の間にはクーロンの法則に従って電気力が働く。この法則によると力の大きさは二つの点電荷の［ア］に比例し，［イ］に反比例する。この電気力の働く方向は二つの点電荷が同符号のときは［ウ］で，異符号のときには［エ］である。

二つの点電荷が固定されているものとして，その二つの点電荷を結ぶ線分上のある点に第三の点電荷を持ってくるとき，固定されている二つの点電荷からこの第三の点電荷に働く力がつり合うためには両端の二つの点電荷は［オ］でなければならない。

距離５mを隔てて＋9Cと＋4Cの点電荷が固定されている。この間のどこかに－1Cの点電荷を置いて両方の点電荷からの力がつり合う位置に置きたい。どこに置けばよいか，計算しなさい。

計算の結果，その位置は＋9Cの点電荷からの距離［カ］mのところになる。

［ア］の解答群

①　距　離　　②　距離と電気量との積
③　電気量の比　　④　電気量の積

［イ］の解答群

①　距　離　　②　距離の二乗　　③　距離の比　　④　距離の三乗

［ウ］，［エ］の解答群

①　近接力　　②　反発力　　③　引　力　　④　重　力

［オ］の解答群

①　異符号　　②　同符号

［カ］の解答群

①　1　　②　2　　③　3　　④　4　　⑤　5

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

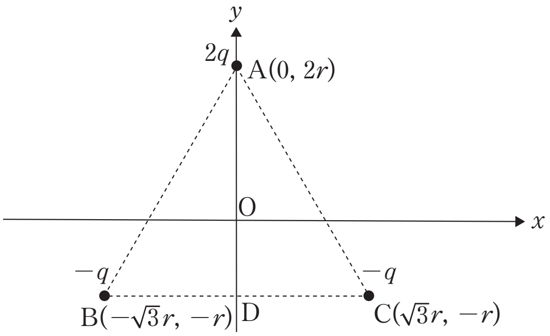
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第33講　電場と電位2

1

図のように，x－y 平面上の点A$(0,\ 2r)$に電気量$2q$ $(q>0)$の点電荷，点B$\left(-\sqrt{3}\,r,\ -r\right)$に電気量 $-q$ の点電荷，点C$\left(\sqrt{3}\,r,\ -r\right)$に電気量 $-q$ の点電荷を固定した。クーロンの法則の比例定数を k として，下の問に答えよ。



(1)　原点Oでの電界の y 成分は，$k\dfrac{q}{r^2}$の何倍か。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

①　$-\dfrac{1}{4}$　②　$-\dfrac{1}{2}$　③　$-\dfrac{3}{4}$　④　-1

⑤　$-\dfrac{2-\sqrt{3}}{4}$　⑥　$-\dfrac{\sqrt{3}-1}{4}$　⑦　$-\dfrac{\sqrt{3}+1}{4}$　⑧　$-\dfrac{\sqrt{3}+2}{4}$

(2)　2点B，Cをむすぶ線分BCの中点をDとする。原点Oから点Dまで電気量 $-q$ の電荷を動かすのに必要な仕事は，$k\dfrac{q^2}{r}$の何倍か。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

①　$\dfrac{2-\sqrt{3}}{3}$　②　$\dfrac{\sqrt{3}-1}{3}$　③　$\dfrac{1}{3}$　④　$\dfrac{\sqrt{3}}{3}$

⑤　$\dfrac{2\left(2-\sqrt{3}\right)}{3}$　⑥　$\dfrac{2\left(\sqrt{3}-1\right)}{3}$　⑦　$\dfrac{2}{3}$　⑧　$\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$

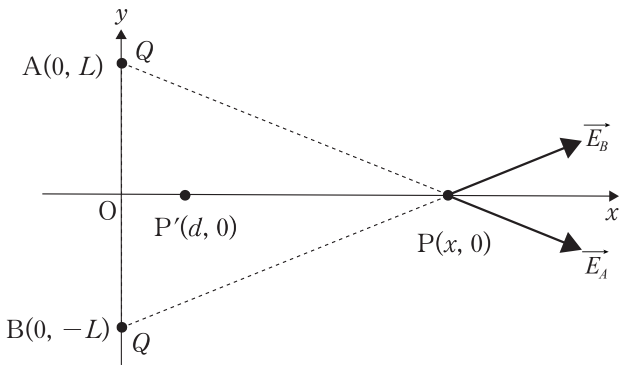
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように2個の点電荷 Q [C]（$Q>0$）を y 軸上の点A(0, L)とB(0, $-L$)に固定した。ただし，長さの単位は [m] とする。クーロンの法則の比例定数を k として，電位の基準を無限遠に選び重力の影響は無視する。



問1

点Aの電荷 Q が，x 軸上の点P(x, 0)に作る電位および電界をそれぞれ V_A [V] および $\overrightarrow{E_A}$ [V/m] とする。点P(x, 0)は，両電荷からの距離が等しいので，$V_A=V_B=$ [あ] [V] であり，$|\overrightarrow{E_A}|=|\overrightarrow{E_B}|=$ [い] [V/m] である。したがって，点Pの電位は $V=V_A+V_B=$ [う] [V] であり，電界は $\overrightarrow{E}=\overrightarrow{E_A}+\overrightarrow{E_B}$ で表される。電界 $\overrightarrow{E}$ の x 成分を E_x，y 成分を E_y とすると，$E_x=$ [え] [V/m]，$E_y=$ [お] [V/m] である。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⓒRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問2

点Pに質量 m [kg]，電荷 $-q$ [C]（$q>0$）をもつ荷電粒子がある場合を考える。ただし，この荷電粒子は x 軸上をなめらかに動くものとする。この荷電粒子は，静電気力による位置エネルギー［ か ］[J] を持つ。いま，点Pが $\left(\sqrt{3}\,L,\ 0\right)$ のとき，この荷電粒子は速度 v_0 [m/s] で x 軸の正方向に運動しているとする。このときの，運動エネルギーと位置エネルギーの和は，［ き ］[J] で与えられる。荷電粒子の位置および速度をそれぞれ x [m]，および v [m/s] としたとき，エネルギー保存の法則を式で表すと［ く ］となる。この荷電粒子が再び点Pへ戻ってこないためには，$v_0 \geqq$［ け ］[m/s] でなければならない。

問3

次に，この荷電粒子を位置P′ で静かにはなした場合を考える。前問と同様に荷電粒子は x 軸上をなめらかに動くものとする。速度 v および位置 x を用いてエネルギー保存の法則を表すと，［ こ ］となる。ここで，荷電粒子をはなした点P′ が原点Oに十分に近く $|d| \ll L$ が成立する場合には，荷電粒子は単振動を行う。これを示すために，エネルギー保存の法則［ こ ］に，近似式，

$$\frac{1}{\sqrt{a^2+b^2}} \fallingdotseq \frac{1}{a}\left\{1-\frac{1}{2}\left(\frac{b}{a}\right)^2\right\} \qquad \text{ただし，} a^2 \gg b^2,\ a>0$$

を適用する。その結果を，ばね定数 K [N/m] のばねに接続された質量 m [kg] の質点のエネルギー保存の法則とみなすと，つりあいの位置は $x=$［ さ ］[m]，ばね定数は，$K=$［ し ］[N/m] と求められる。これより，荷電粒子の運動の周期は［ す ］[s] であることがわかる。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

静電気力に対するクーロンの法則を理解し応用するために，電気力線の概念は有用である。

●電気力線は電場（電界）の方向に沿って描かれ，電場と同じ向きをもつ。

●電場の向きに垂直な単位面積を通過する電気力線の本数で，電場の大きさ E が表される。

この電気力線は以下の性質をもつ。

●正電荷の集まりから出ていく電気力線の本数 N は，電荷の総量を Q とするとき，$N=4\pi k_0 Q$ である。一方，電荷の総量が $-Q$ である負電荷の集まりには，同じ本数 N の電気力線が入っていく。（ただし，$k_0=9\times10^9$ [$\mathrm{Nm^2/C^2}$] である。）

●電気力線は正電荷から出て負電荷に入り，途中で枝分かれしたり交わったりしない。近くに負電荷が不足している場合には，電気力線の一部は無限遠に向かい，逆に正電荷が不足している場合には，電気力線の一部は無限遠からやって来る。

●これらのことは，点電荷の場合だけでなく，広がりのある電荷分布に対しても一般的に成り立つ。

これらのことを考慮して，以下の問に答えよ。

(A)　半径 R の球の内部に，正電荷が一様に分布している場合を考える。すなわち，単位体積あたりの電気量が一定値 ρ となるように，電荷が球全体に分布している（図１）。この場合の電気力線を求めよう。電荷の分布が球対称であるから，電気力線の向きは球の表面に垂直となり，放射状に広がる。また，球の近くには負電荷がないとすると，電気力線は球の外側に向かって無限遠まで伸びる。

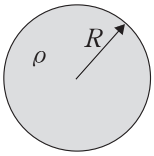


図１

(1)　この球の外側での電気力線を図示せよ。

(2)　球から出ていく電気力線の総本数 N はいくらか。

(3)　中心から距離 r（$r\geqq R$）での電場の大きさ $E(r)$ を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(B)　次に，内径 R，外径 R' の２つの球に囲まれた部分（球殻）に，正電荷が(1)と同じく単位体積あたりの電気量が一定値 ρ となるように，一様に分布している場合を考える（図２）。

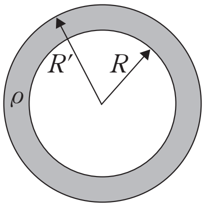


図２

(1)　中心からの距離を r としたとき，球殻の内側($r<R$)と外側($r>R'$)での電気力線を図示せよ。

(2)　球殻の内側($r<R$)と外側($r>R'$)での電場の大きさ $E(r)$ を求めよ。

(C)　(A)の球を(B)の半径 R の空洞部分にはめ込むと，正電荷が一様な密度 ρ で分布している半径 R' の球になる（図３）。このとき，中心から距離 R における電場の大きさ $E(R)$ を求めよ。

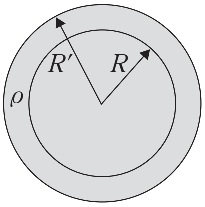


図３

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第33講　確認テスト

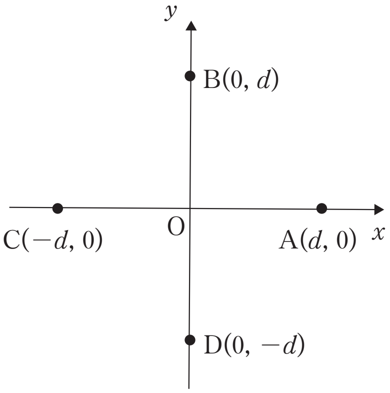
次の文中の［ア］～［ク］に最も適するものをそれぞれの解答群から一つ選びなさい。ただし，クーロンの法則の比例定数を k とする。また，電位の基準を無限遠にとる。

平面上に図のように x 軸，y 軸をとり，x 軸上の点A$(d,\ 0)$に電気量 Q の正電荷を置いた。d と Q は，どちらも正である。このとき，y 軸上の点B$(0,\ d)$に作られる電場（電界）の大きさは［ア］であり，向きは［イ］である。

点Aと点C$(-d,\ 0)$に電気量 Q の正電荷を置くと，点Bに作られる電場の大きさは［ウ］であり，向きは［エ］である。また，点Bでの電位は［オ］である。

次に，点Aと点Cに電気量 Q の正電荷を固定し，さらに点Bに電気量 $-Q$ の負電荷を固定する。このとき，無限遠にある電気量 $-Q$ の負電荷が y 軸上の点D$(0,\ -d)$まで移動するあいだに電場がする仕事は［カ］である。

最後に，点Aと点Cに電気量 Q の正電荷を固定し，点Bと点Dに電気量 $-Q$ の負電荷を固定する。電位が正の等電位線を実線で，電位が負の等電位線を点線で描くと，この平面内での等電位線は［キ］のようになる。したがって，x 軸上をなめらかに動くことができる正電荷を持った荷電粒子を点$(d_1,\ 0)$に置き（ただし，$0 < d_1 < d$），静かに放すと，粒子は［ク］。



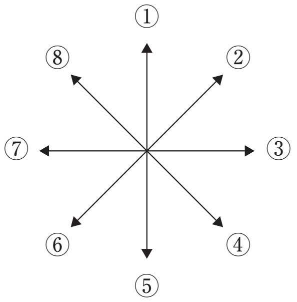
［ア］の解答群

① $k\dfrac{Q}{d}$　② $k\dfrac{Q}{d^2}$　③ $k\dfrac{Q^2}{d}$　④ $k\dfrac{Q^2}{d^2}$

⑤ $k\dfrac{Q}{\sqrt{2}\,d}$　⑥ $k\dfrac{Q}{2d^2}$　⑦ $k\dfrac{Q^2}{\sqrt{2}\,d}$　⑧ $k\dfrac{Q^2}{2d^2}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

[イ], [エ]の解答群



[ウ], [オ]の解答群

① $k\dfrac{2Q}{d}$　② $k\dfrac{\sqrt{2}\,Q}{d^2}$　③ $k\dfrac{2Q^2}{d}$　④ $k\dfrac{\sqrt{2}\,Q^2}{d^2}$

⑤ $k\dfrac{\sqrt{2}\,Q}{d}$　⑥ $k\dfrac{Q}{\sqrt{2}\,d^2}$　⑦ $k\dfrac{\sqrt{2}\,Q^2}{d}$　⑧ $k\dfrac{Q^2}{\sqrt{2}\,d^2}$

[カ]の解答群

① $-k\dfrac{Q^2}{2d}$　② $k\dfrac{Q^2}{2d}$

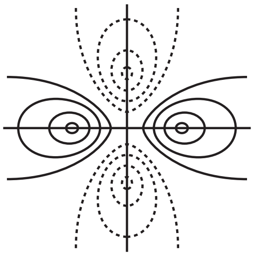
③ $-k\left(\sqrt{2}-\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{Q^2}{2d}$　④ $k\left(\sqrt{2}-\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{Q^2}{d}$

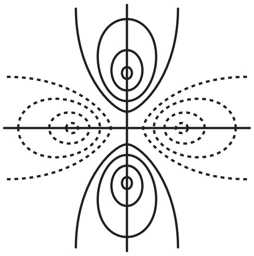
⑤ $-k\dfrac{3Q^2}{4d^2}$　⑥ $k\dfrac{3Q^2}{4d^2}$

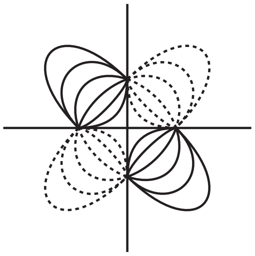
⑦ $-k\left(\dfrac{1}{\sqrt{2}}-\dfrac{1}{4}\right)\dfrac{Q^2}{d^2}$　⑧ $k\left(\dfrac{1}{\sqrt{2}}-\dfrac{1}{4}\right)\dfrac{Q^2}{d^2}$

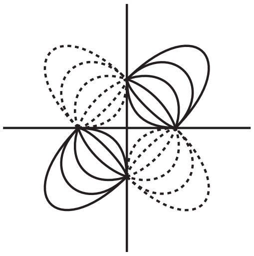
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

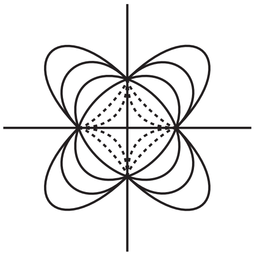
キ の解答群

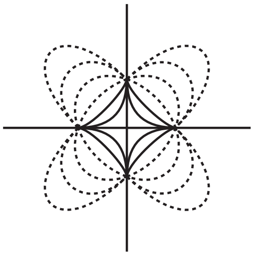
①


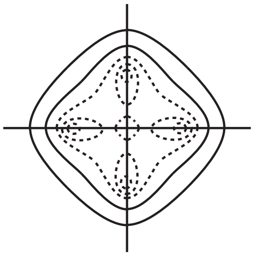
②


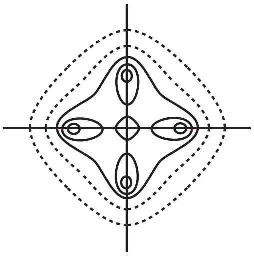
③


④


⑤


⑥


⑦


⑧


ク の解答群

①　静止したままである
②　x 軸の負の方向に動きだし，その後，原点を中心にして x 軸上で往復運動する
③　x 軸の正の方向に動きだし，その後，原点を中心にして x 軸上で往復運動する
④　x 軸の負の方向に動きだし，その後，点$(d_1,\ 0)$を中心にして x 軸上で単振動する
⑤　x 軸の正の方向に動きだし，その後，点$(d_1,\ 0)$を中心にして x 軸上で単振動する
⑥　x 軸の負の方向に動きだし，そのまま x 軸上を負の方向に無限遠まで運動し続ける
⑦　x 軸の正の方向に動きだし，そのまま x 軸上を正の方向に無限遠まで運動し続ける

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

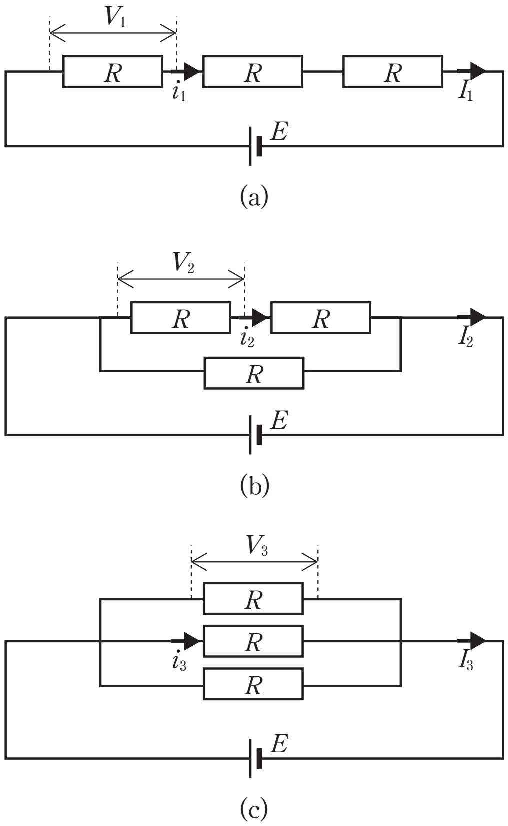
第 34 講　電気抵抗と直流回路

1

［A］

抵抗値が R の抵抗と起電力 E の電源を使って図(a), (b), (c)のような回路を作った。図中に示してある V_1, V_2, V_3 はその場所の抵抗にかかる電圧，i_1, i_2, i_3, I_1, I_2, I_3 は矢印で示した場所を流れる電流である。図(a), (b), (c)のそれぞれの場合について，回路全体で消費する電力を P_1, P_2, P_3 とする。

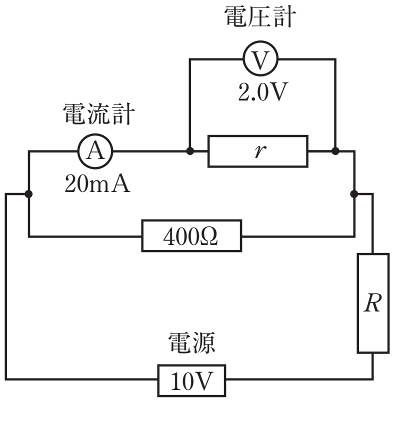
電圧 V_1, V_2, V_3, 電流 i_1, i_2, i_3, I_1, I_2, I_3, 消費電力 P_1, P_2, P_3 を，抵抗値 R, 起電力 E を用いて求めよ。



［B］

次図に示すような回路を作り，抵抗 r に並列に直流電圧計，直列に直流電流計を接続した。これに電圧 10V の直流電源を接続したところ，電圧計は 2.0V，電流計は 20mA を示した。電流計の内部抵抗と, 電圧計を流れる電流は無視できる。以下の問について有効数字 2 けた，単位をつけて答えなさい。

(1)　400 Ωの抵抗に流れる電流を求めなさい。
(2)　抵抗 R の両端間の電圧を求めなさい。
(3)　抵抗 R に流れる電流を求めなさい。
(4)　抵抗 R の抵抗値を求めなさい。
(5)　この回路の消費する電力を求めなさい。



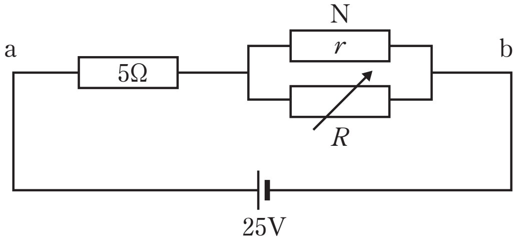
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

抵抗値 5 Ωの電気抵抗と，抵抗値 r［Ω］の電気抵抗 N と可変抵抗（抵抗値を R［Ω］とし，R を変えることができる）を図のように接続し，これに起電力 25V の電池を接続して回路を作った。電池の内部抵抗は無視してよい。以下の問に答えよ。



(1)　ab 間の合成抵抗は何Ωか。

(2)　電池を流れる電流は何 A か。

(3)　電気抵抗 N を流れる電流は何 A か。

(4)　電気抵抗 N の抵抗値を $r=15$［Ω］とする。N から 1 秒間に発生するジュール熱を 15［J/s］とするには可変抵抗の抵抗値 R を何Ωとすればよいか。

(5)　(4)のとき，電池が供給する電力は何 W か。

(6)　可変抵抗の値を $R=20$［Ω］にする。このとき，電気抵抗 N として何Ωの抵抗値を持つものを用いれば，N で発生するジュール熱を最大にすることができるか。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

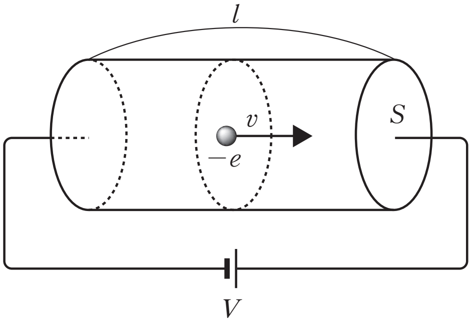
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図に示すように, 断面積 S [m^2] , 長さ l [m] の円柱の導体があり, 両端の電圧は V [V] で, 大きさ I [A] の電流が流れている。図の中央には，ひとつの自由電子とその平均の速さ v [m/s] が代表的に示してある。



(1)　電流の大きさ I は，単位時間当たりに導体の断面を通過する電気量である。電気素量を e [C]，自由電子の平均の速さを v，単位体積中の自由電子の数を n [m^{-3}] とすると，I は次式で表される。

$I=$ [1] [A]　……(1)

解答群

① ev	② en	③ env	④ env^2
⑤ evS	⑥ enS	⑦ $envS$	⑧ env^2S
⑨ e^2nS	⑩ e^2nvS	⑪ e^2nv^2S	

(2)　導体に一定の電流が流れているとき，自由電子は一定の平均の速さ v で移動している。このとき，自由電子が強さ E [N/C] の電場から受ける大きさ F_1 [N] の力と，導体中の陽イオンから受ける大きさ F_2 [N] の抵抗力はつりあっている。図に示す場合は，E は [2] [N/C]，F_1 は [3] [N] となる。F_2 は，陽イオンの熱振動によって自由電子の動きを妨げる抵抗力である。この抵抗力の大きさが電子の速さ v に比例すると考えると，比例定数を k [N･s/m] として $F_2=kv$ となる。これらのことから，v は次式で与えられる。

$v=$ [4] [m/s]　……(2)

解答群

① Vl	② $\dfrac{V}{l}$	③ eVl	④ $\dfrac{eV}{l}$
⑤ $\dfrac{eVl}{k}$	⑥ $\dfrac{eV}{kl}$	⑦ VlS	⑧ $\dfrac{VS}{l}$
⑨ $eVlS$	⑩ $\dfrac{eVS}{l}$	⑪ $\dfrac{eVlS}{k}$	⑫ $\dfrac{eVS}{kl}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)　式(1)と式(2)から導かれる関係式をオームの法則と比較することにより，図に示す円柱の導体の電気抵抗は［ 5 ］［Ω］と表される。

解答群

① $\frac{neS}{kl}$　② $\frac{ne^2S}{kl}$　③ $\frac{neS}{klV}$　④ $\frac{ne^2S}{klV}$

⑤ $\frac{klV}{neS}$　⑥ $\frac{kl}{neS}$　⑦ $\frac{kl}{ne^2S}$　⑧ $\frac{klV}{ne^2S}$

(4)　自由電子が電場からされる仕事は，抵抗力に打ちかって進むのに必要なエネルギーとして使われ，最終的には熱に変わる。1秒間に自由電子1個が電場からされる仕事は［ 6 ］［J/s］である。図の円柱の導体中の自由電子の総数は［ 7 ］個なので，この導体中の全自由電子が毎秒される仕事は［ 8 ］［J/s］であり，これはジュール熱 IV［J/s］に等しい。

解答群

① eVl　② eV　③ $\frac{evV}{l}$　④ $enVl$

⑤ enV　⑥ $enVlS$　⑦ $enVS$　⑧ nS

⑨ nl　⑩ nlS　⑪ $\frac{e^2V^2}{kl^2}$　⑫ $\frac{nSe^2V^2}{kl}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 34 講　確認テスト

以下の各問について，解答群の中からもっとも適する答を１つ選びなさい。

２つの抵抗 R_1，R_2 にそれぞれ電圧を加えて抵抗に流れる電流を測定したところ，電圧と電流の関係は図１のようになった。

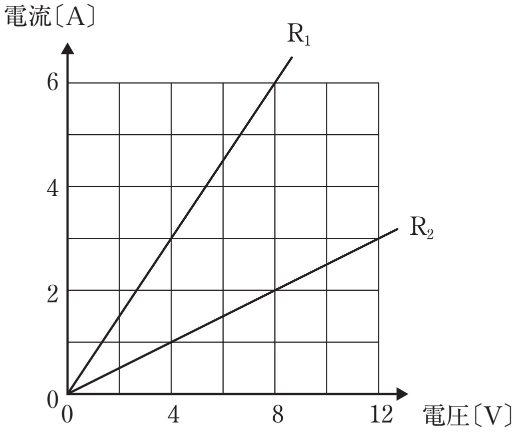


図１

問１．抵抗 R_2 の抵抗値は何Ωか。 1

この２つの抵抗 R_1，R_2 と可変抵抗（抵抗値を連続的に変えられる抵抗）R を，図２のように導線でつなぎ，これらを起電力 12V の電源 E に接続した。このとき，電源 E に流れる電流は 4.0A であった。

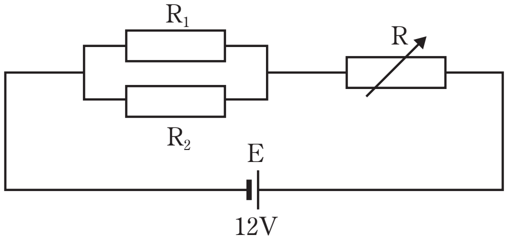


図２

問２．抵抗 R_2 に流れる電流は何 A か。 2

問３．可変抵抗 R の抵抗値は何Ωか。 3

問４．抵抗 R_2 で消費される電力は何 W か。 4

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

可変抵抗Rの抵抗値を変化させて，可変抵抗における消費電力を抵抗R_2における消費電力と等しくなるようにしたい。

問5．可変抵抗Rの抵抗値は何Ωにしたらよいか。 5

〔解答群〕

(ア)　0.0	(イ)　0.25	(ウ)　0.50	(エ)　1.0
(オ)　1.2	(カ)　1.5	(キ)　2.0	(ク)　3.0
(ケ)　4.0	(コ)　5.0	(サ)　6.0	(シ)　12

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第35講　コンデンサー1

1

コンデンサーに関する次の問に答えよ。ただし，真空の誘電率を ε_0 [F/m] とする。

問1

図1のように，面積 S [m^2] の2枚の極板を真空中で d [m] 離した平行板コンデンサー C_0 を，V [V] の直流電源（電池）に接続して充電した。

図1

(1)　C_0 の電気容量 C_0 [F] を求めよ。

(2)　C_0 の極板間の電場の強さ E_0 [V/m] を求めよ。

問2

面積 S [m^2] の2枚の極板を真空中で $\dfrac{2d}{3}$ [m] 離した平行板コンデンサー C_1 と，面積 S [m^2] の2枚の極板を真空中で $\dfrac{d}{3}$ [m] 離した平行板コンデンサー C_2 を，図2のように，V [V] の直流電源（電池）に接続して充電した。

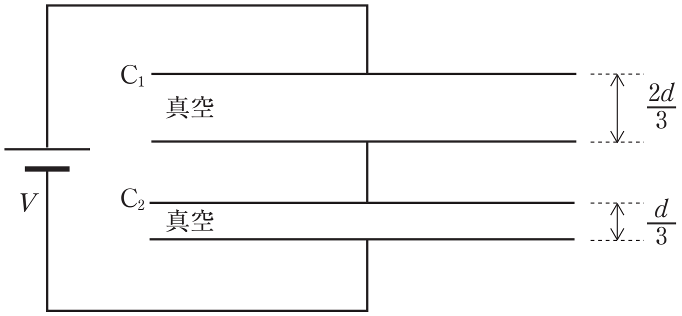


図2

(1)　C_1，C_2 それぞれの電気容量 C_1 [F]，C_2 [F] を求めよ。

(2)　C_1 と C_2 の合成容量 C [F] を求めよ。

(3)　C_1，C_2 それぞれの極板間の電場の強さ E_1 [V/m]，E_2 [V/m] を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問３

図３のように，面積 S [m^2] の平行な２枚の極板を真空中で d [m] 離し，厚さ $\frac{2d}{3}$ [m]，比誘電率 ε_r の誘電体を極板間に挿入した。次に，この平行板コンデンサー C_3 を V [V] の直流電源（電池）に接続して充電した。

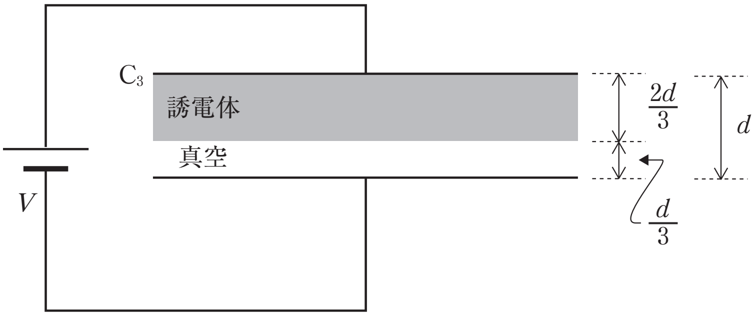


図３

⑴　C_3 の電気容量 C_3 [F] を求めよ。

⑵　C_3 の極板間の誘電体中の電場の強さ E_3 [V/m] を求めよ。

⑶　C_3 の極板間の真空部分の電場の強さ E_4 [V/m] を求めよ。

問４

図４のように，問３で挿入した誘電体を半分だけ取り除き，極板の面積 $\frac{S}{2}$ [m^2] の部分では極板間は真空となるようにした。この平行板コンデンサー C_4 の電気容量 C_4 [F] を求めよ。

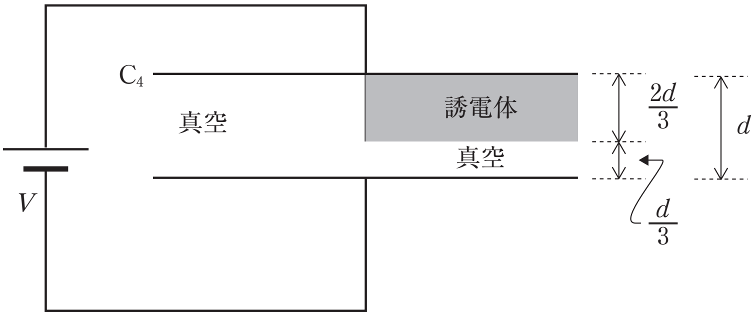


図４

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

極板の面積 S [m^2]，間隔 d [m] の平行板コンデンサーがある。図１のように，コンデンサーにはスイッチを通して起電力 V_0 [V] の電池がつながれている。ここで，抵抗 R [Ω] は電池の内部抵抗であり，導線の抵抗は無視する。コンデンサーの負側の極板は接地されている。スイッチを閉じてコンデンサーを充電し，十分に時間がたった後スイッチを開く。このときコンデンサーに蓄えられた電荷を Q_0 [C] とする。極板の端の影響は無視できるものとする。以下の文章の空欄を埋めよ。空欄［(オ)］には適切な語句を記入せよ。空欄［(サ)］と［(セ)］には，問題文の最後にある選択肢(a)〜(c)から正しいものを選び記号で答えよ。その他の空欄については，適切な数式を本文中の記号 Q_0，S，d，ε_0，ε_r および数字を使って答えよ。また，設問(3)と(4)に従ってグラフを描け。

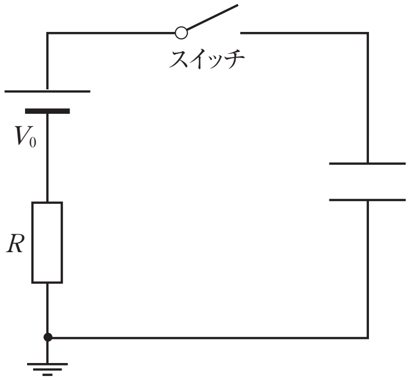


図１

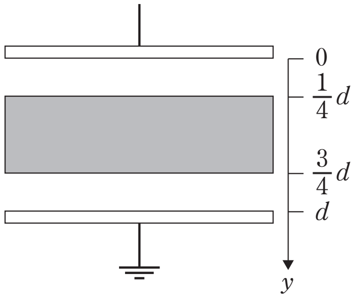


図２

(1)

極板間は真空であるとし，真空の誘電率を ε_0 [F/m] とする。極板間の電気力線の本数はコンデンサーの電荷 Q_0 に比例し，極板間の電界の強さ E [V/m] は単位面積当たりの電気力線の本数に等しいから，電界の強さは，$E=$［(ア)］Q_0 である。したがって充電電圧 V_0 とコンデンサーの電荷 Q_0 との関係は，$Q_0=$［(イ)］V_0 となり，この比例定数がコンデンサーの電気容量 C_0 [F] を与える。ここで，電池がコンデンサーを充電するのに要した仕事 W [J] は［(ウ)］V_0 であり，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U_0 [J] は［(エ)］V_0 である。その差は［(オ)］として消費される。

(2)

極板間に働く力 F [N] を求めたい。極板間隔 d における静電エネルギーは $U_0=$［(カ)］d と表される。極板をゆっくりと Δd [m] だけ引き離すときの静電エネルギーの変化分 ΔU [J] は外から加えた仕事 $F\Delta d$ に等しい。これより，$F=$［(キ)］$Q_0{}^2=$［(ク)］Q_0E となることがわかる。

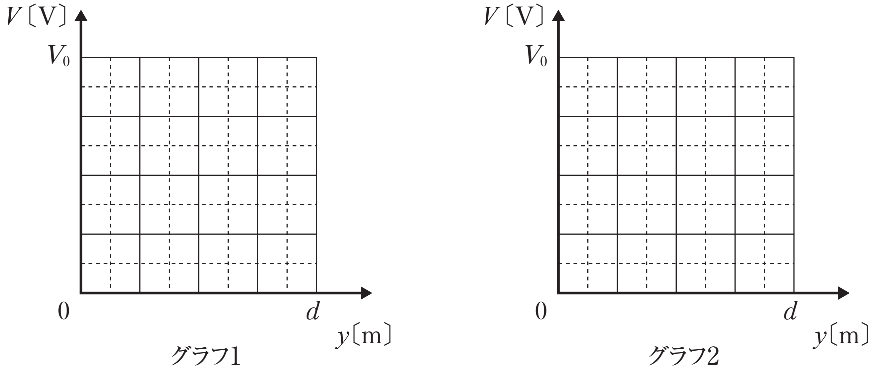
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)

スイッチを開いた状態で，図２のようにコンデンサーの中央に，極板と同じ大きさで厚みが$\dfrac{d}{2}$の電荷をもたない導体を挿入した。このときのコンデンサーの電気容量は，導体挿入前の［(ケ)］倍となる。図２に示すように，正側の極板上を座標の原点として負側の極板に向けてy軸をとるとき，$0 \leqq y \leqq d$における電位変化の様子をグラフ１に描け。また，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは導体挿入前の［(コ)］倍となるから，導体は挿入時，［(サ)］ことがわかる。



グラフ1　　グラフ2

(4)

(3)と同様に，スイッチを開いた状態で，コンデンサーの中央に，極板と同じ大きさで厚みが$\dfrac{d}{2}$，比誘電率が$\varepsilon_r\,(>1)$の帯電していない誘電体を挿入した。このときのコンデンサーの電気容量は，誘電体挿入前の［(シ)］倍となる。$\varepsilon_r = 2$の場合について，$0 \leqq y \leqq d$における電位変化の様子をグラフ２に描け。また，この場合にコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは誘電体挿入前の［(ス)］倍となるから，誘電体は挿入時，［(セ)］ことがわかる。

空欄(サ)と(セ)の選択肢
(a)　コンデンサーに引き込まれる力を受ける
(b)　コンデンサーから押し出される力を受ける
(c)　コンデンサーから力を受けない

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 35 講　確認テスト

図１のように，平行板コンデンサーと抵抗値 R の抵抗に，起電力 V の電池とスイッチ K がつながれている。このコンデンサーの極板面積を S，極板間隔を d とし，極板間は真空であるものとする。スイッチ K は開いており，コンデンサーには電荷は蓄えられていないものとする。なお，電池の内部抵抗は十分小さく，無視できるものとする。真空の誘電率 ε_0 をとして，次の各問に答えなさい。答えはそれぞれの解答群の中から最も適切なものを一つ選び，答えなさい。

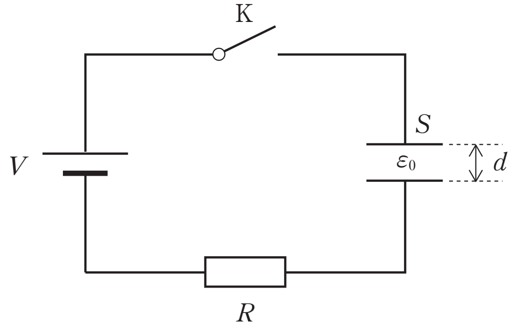


図１

はじめに，スイッチ K を閉じた。

(1)　スイッチ K を閉じた直後に抵抗を流れる電流 I を求めなさい。

(2)　じゅうぶん時間が経過してコンデンサーの充電が完了したとき，コンデンサーに蓄えられている電荷量 Q を求めなさい。

(3)　充電が完了するまでに，電池がした仕事は，$W=QV$ で与えられる。コンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U_1 と W の比 $\dfrac{U_1}{W}$ を求めなさい。

(4)　充電が完了するまでに，抵抗 R で消費されたエネルギー J を求めなさい。

次に，充電が完了した後スイッチ K を開き，図２のように，コンデンサーに底面積 $\dfrac{S}{2}$，厚さ d，誘電率 $4\varepsilon_0$ の誘電体を極板のちょうど真ん中まで差し込んだ。

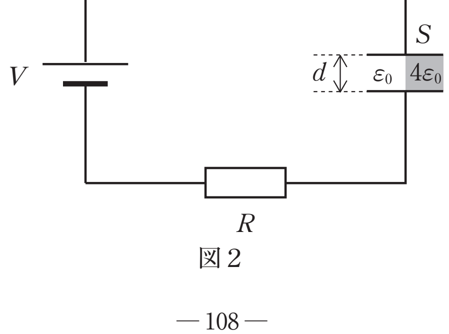


図２

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(5)　このとき，コンデンサーの電気容量 C を求めなさい。

(6)　コンデンサーに蓄えられているエネルギー U_2 を求めなさい。

〔解答群〕

(1)　ア．$I=\dfrac{\sqrt{2}\,V}{R}$　イ．$I=\dfrac{V}{R}$　ウ．$I=\dfrac{V}{R^2}$　エ．$I=\dfrac{V^2}{R}$

オ．$I=\dfrac{3V}{2R}$

(2)　ア．$Q=\dfrac{\varepsilon_0 dV}{S}$　イ．$Q=\dfrac{\varepsilon_0 d}{SV}$　ウ．$Q=\dfrac{\varepsilon_0 dS}{V}$　エ．$Q=\dfrac{\varepsilon_0 SV}{d}$

オ．$Q=\dfrac{\varepsilon_0 S}{dV}$

(3)　ア．$\dfrac{U_1}{W}=1$　イ．$\dfrac{U_1}{W}=\dfrac{1}{2}$　ウ．$\dfrac{U_1}{W}=\dfrac{1}{4}$　エ．$\dfrac{U_1}{W}=2$

オ．$\dfrac{U_1}{W}=0$

(4)　ア．$J=\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2d}$　イ．$J=\dfrac{\varepsilon_0 dV^2}{2S}$　ウ．$J=\dfrac{V^2}{2R}$　エ．$J=0$

オ．$J=\dfrac{RV^2}{2}$

(5)　ア．$C=\dfrac{2\varepsilon_0 S}{5d}$　イ．$C=\dfrac{2\varepsilon_0 d}{5S}$　ウ．$C=\dfrac{5\varepsilon_0 S}{2d}$　エ．$C=\dfrac{5\varepsilon_0 S}{d}$

オ．$C=\dfrac{5\varepsilon_0 d}{2S}$

(6)　ア．$U_2=\dfrac{\varepsilon_0 dV^2}{5S}$　イ．$U_2=\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2d}$

ウ．$U_2=\dfrac{5\varepsilon_0 dV^2}{4S}$　エ．$U_2=\dfrac{5\varepsilon_0 SV^2}{4d}$

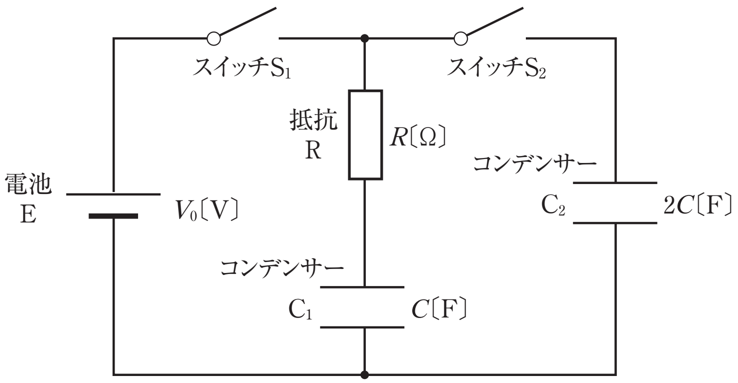
オ．$U_2=\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{5d}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 36 講　コンデンサー２

1

　図に示すように，電池 E（起電力は V_0［V］），抵抗 R（電気抵抗は R［Ω］），２個のコンデンサー C_1，C_2（容量はそれぞれ C［F］，$2C$［F］）および２個のスイッチ S_1，S_2 からなる回路がある。初め，スイッチ S_1，S_2 は開かれており，コンデンサー C_1，C_2 に電荷がなかったものとする。電池の内部抵抗は無視できるものとする。以下の文章中の空欄にあてはまる数値または数式を解答欄に記入せよ。数式は，V_0，R，C の中から必要な文字を用いて表せ。



問１　最初，スイッチ S_2 を開いたままスイッチ S_1 を閉じたときについて，以下の設問に答えよ。

⑴　スイッチ S_1 を閉じた直後に抵抗 R を流れる電流の強さ I_1 は［ ① ］［A］である。また，このときのコンデンサー C_1 の極板間の電位差 V_1 は［ ② ］［V］である。

⑵　スイッチ S_1 を閉じて十分時間が経過した後，抵抗 R を流れる電流の強さ I_2 は［ ③ ］［A］である。また，このときのコンデンサー C_1 の極板間の電位差 V_2 は［ ④ ］［V］，蓄えられた電気量 Q は［ ⑤ ］［C］，静電エネルギー U は［ ⑥ ］［J］と表される。

⑶　スイッチ S_1 を閉じた直後から十分時間が経過するまでに，電池 E は一定の電圧で電荷を移動させるので，この間に電池がした仕事 W_1 は［ ⑦ ］［J］と表される。この間に，抵抗 R で消費されたエネルギー W_2 は［ ⑧ ］［J］と表される。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問2　問1の操作を行ってから十分時間が経過した後，スイッチ S_1 を開き，さらにスイッチ S_2 を閉じた。以下の設問に答えよ。

(4)　スイッチ S_2 を閉じた直後に抵抗Rを流れる電流の強さ I_3 は［ ⑨ ］[A] である。

(5)　スイッチ S_2 を閉じて十分時間が経過した後，コンデンサー C_1 に蓄えられている電気量 Q_1 は［ ⑩ ］[C] と表される。また，コンデンサー C_1 に蓄えられている静電エネルギー U_1 は［ ⑪ ］[J] と表される。

(6)　スイッチ S_2 を閉じた直後から十分時間が経過するまでに，抵抗Rで消費されたエネルギー W_3 は［ ⑫ ］[J] である。

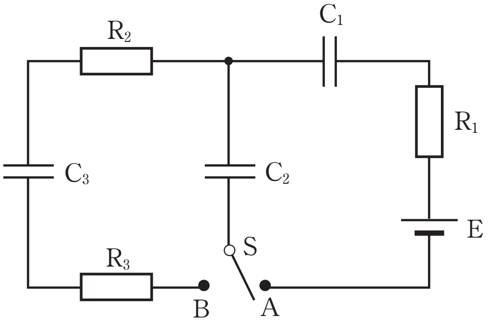
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように内部抵抗の無視できる起電力12.0Vの電池E，容量がそれぞれ1.0μF，2.0μF，3.0μFのコンデンサーC$_1$，C$_2$，C$_3$，抵抗値がそれぞれ10.0 Ω，20.0 Ω，40.0 Ωの抵抗R$_1$，R$_2$，R$_3$，および切りかえスイッチSよりなる電気回路がある。最初，スイッチSはA，Bどちらの端子にもつながっておらず，またどのコンデンサーにも電荷は蓄えられていなかったものとして，[1]～[9]に入る最も適切な数値を選びなさい。解答はそれぞれにつき解答群より1つ選びなさい。



(1)　スイッチSをA側につないで十分に時間が経過したとき，コンデンサーC$_1$に蓄えられている電気量は[1]$\times 10^{-6}$ Cであり，コンデンサーC$_2$の極板間の電圧は[2]Vである。

[1]，[2]の解答群

① 1.0　② 2.0　③ 3.0　④ 4.0　⑤ 5.0
⑥ 6.0　⑦ 7.0　⑧ 8.0　⑨ 9.0

(2)　次にスイッチをB側につないで十分に時間が経過したとき，コンデンサーC$_2$の極板間電圧は[3]Vであり，コンデンサーC$_3$に蓄えられている電気量は[4]$\times 10^{-6}$ Cである。

(3)　このとき，コンデンサーC$_2$とC$_3$に蓄えられている静電エネルギーの合計は[5]$\times 10^{-6}$ Jであり，従ってスイッチをBにつないでから十分に時間がたつまでに失われた静電エネルギーは[6]$\times 10^{-6}$ Jである。これがすべて抵抗で失われたとすると，抵抗R$_2$で発生した熱量は[7]$\times 10^{-6}$ Jである。

(4)　次に再びスイッチSをA側につないで十分に時間が経過したとき，コンデンサーC$_1$に蓄えられている電気量は[8]$\times 10^{-6}$ Cであり，コンデンサーC$_2$に蓄えられている電気量は[9]$\times 10^{-6}$ Cである。

[3]～[9]の解答群

① 0.8　② 1.6　③ 3.2　④ 4.8　⑤ 6.4
⑥ 8.0　⑦ 9.6　⑧ 11.2　⑨ 12.8

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

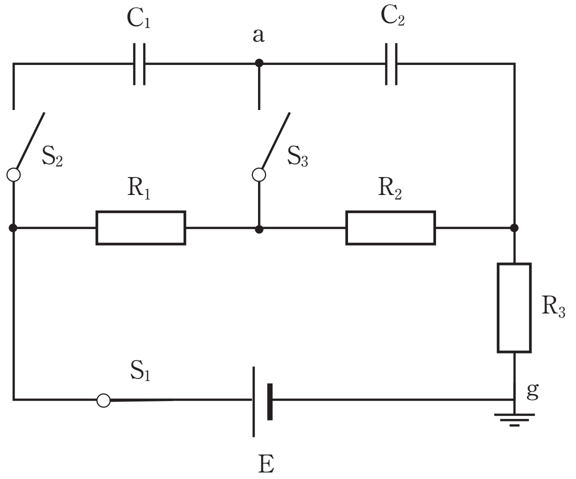
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 36 講　確認テスト

次の文章を読み，下の問に答えなさい。

図のように，起電力 E の電池 E，抵抗値が R，$2R$，R の抵抗 R_1，R_2，R_3，電気容量が $2C$，C のコンデンサー C_1，C_2，およびスイッチ S_1，S_2，S_3 からなる回路がある。R_1，R_2，R_3 以外の電気抵抗はいずれも無視できるものとする。図中の g 点は接地してあり，この点の電位を 0 とする。

はじめ，図のように，スイッチ S_1 だけが閉じられていて，コンデンサー C_1，C_2 には電荷は蓄えられていないものとする。



問１　はじめの状態で抵抗 R_1 が消費している電力 P_1，R_2 が消費している電力 P_2 の比 $\dfrac{P_1}{P_2}$ はいくらか。正しいものを，次の①〜⑥から一つ選びなさい。$\dfrac{P_1}{P_2}=$ [1]

①　$\dfrac{1}{4}$　②　$\dfrac{1}{3}$　③　$\dfrac{1}{2}$　④　1

⑤　2　⑥　3

次に，スイッチ S_1 を閉じたままで，スイッチ S_3 を閉じた。

問２　十分に時間が経過したとき，コンデンサー C_2 に蓄えられる電気量はいくらか。正しいものを，次の①〜⑥から一つ選びなさい。[2]

①　$\dfrac{CE}{4}$　②　$\dfrac{CE}{3}$　③　$\dfrac{CE}{2}$　④　$\dfrac{2}{3}CE$

⑤　$\dfrac{3}{4}CE$　⑥　CE

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

さらに，スイッチ S_1 を閉じたままで，スイッチ S_3 を開いた後，スイッチ S_2 を閉じた。

問３　十分に時間が経過したとき，コンデンサー C_2 に蓄えられる電気量はいくらか。正しいものを，次の①～⑥から一つ選びなさい。 3

①　$\frac{CE}{6}$　②　$\frac{CE}{3}$　③　$\frac{CE}{2}$　④　$\frac{2}{3}CE$

⑤　CE　⑥　$\frac{7}{6}CE$

問４　十分に時間が経過したとき，図の a 点の電位はいくらか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。 4

①　$\frac{E}{6}$　②　$\frac{E}{3}$　③　$\frac{E}{2}$　④　$\frac{2}{3}E$

⑤　$\frac{3}{4}E$　⑥　$\frac{5}{6}E$　⑦　$\frac{11}{12}E$　⑧　E

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第37講　非線形素子

1

図1のL_1，L_2のような直流の電流電圧特性を持つ2種類の電球がある。図2は，抵抗Rと内部抵抗が無視できる電池E，およびab端子で構成される回路であり，図3はその端子につなげる4例の電球の接続図を示す。以下の各問に答えよ。

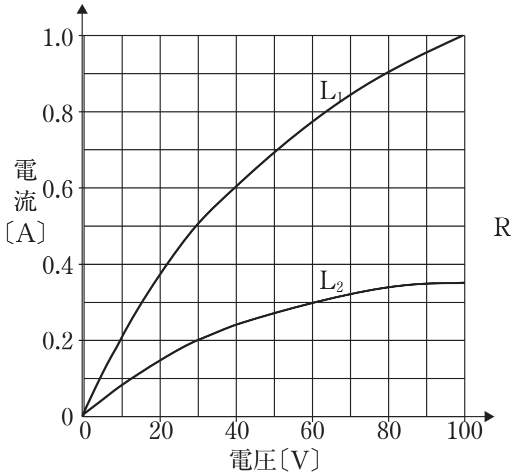


図1

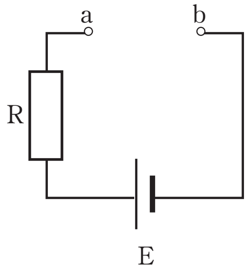


図2

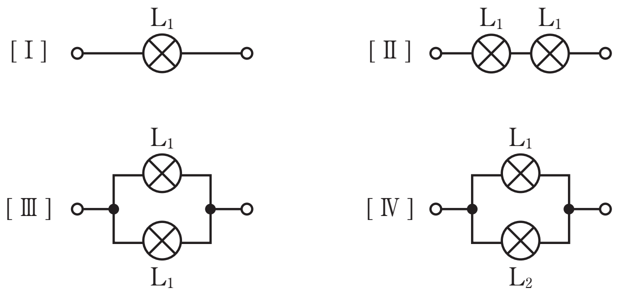


図3

(1)　ab端子に[Ⅰ]の電球を接続したとき，抵抗Rを60[Ω]，電池Eの起電力を60[V]とすると，L_1に流れる電流はいくらか。

(2)　ab端子に[Ⅱ]の電球を接続したとき，抵抗Rを200[Ω]，電池Eの起電力を200[V]とすると，L_1に流れる電流はいくらか。

(3)　ab端子に[Ⅲ]の電球を接続したとき，抵抗Rを50[Ω]，電池Eの起電力を100[V]とすると，1個のL_1の消費電力はいくらか。

(4)　ab端子に[Ⅳ]の電球を接続したとき，抵抗Rを100[Ω]，電池Eの起電力を100[V]とすると，L_2に流れる電流はいくらか。また，この回路全体の消費電力はいくらか。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

金属の電気抵抗について以下の問に答えよ。

問1　次の文章は金属中の自由電子の運動に関する説明である。文中の空欄(1)〜(5)にあてはまる式を記せ。

図1に示すように直方体の金属に電池をつないで電流 I [A] を流す。金属の両端での電圧降下は V [V] である。金属の各辺は，x，y，z 軸と平行であり，それぞれの方向の長さを，L [m]，b [m]，c [m] とする。電子の電荷を $-e$ [C] ($e>0$) とし，単位体積あたりの自由電子の個数を n [1/m^3] とする。

金属中で自由電子は，電場による力と陽イオンの熱振動による抵抗力を受けながら運動することになる。1個の電子にはたらく x 軸方向の電場による力は，(1) [N] である。自由電子の x 軸方向の速度の平均を v [m/s] とするとき，1個の電子が受ける抵抗力 f [N] が v [m/s] に比例することを仮定すると，$f=-kv$ [N] ($k>0$) と書ける。電場による力と抵抗力がつりあったとき，v [m/s] は一定になり，$v=$ (2) $\times V$ [m/s] が得られる。一方，左方向に流れる電流 I [A] は，v [m/s] を用いて表すと，$I=$ (3) $\times v$ [A] となる。以上より電圧と電流の関係は，$I=$ (4) $\times V$ [A] と与えられ，金属の抵抗 R [Ω] は，長さ L [m] に比例し，$R=$ (5) $\times L$ [Ω] と書くことができる。

このように，オームの法則では自由電子の運動をさまたげる力が重要であることがわかる。

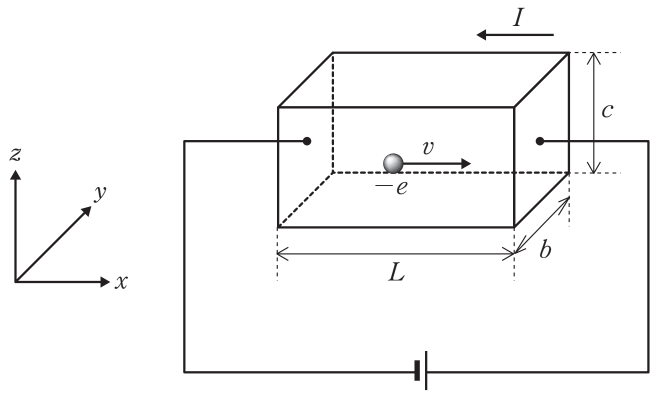


図1

問2　一般に金属の電気抵抗は，温度の上昇とともに増加する。このことを問1の文章を参考にして簡潔に説明せよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問3

金属の抵抗 R [Ω] は，温度 T [℃] の関数として，$R = R_0(1+\alpha T)$に従って変化する。ここで，R_0 [Ω] は0℃での抵抗，α [1/K] は温度係数である。一方，金属に電流を流すと，ジュール熱によって温度が上昇し，抵抗が変化する。図2に，ある金属をフィラメントに用いた電球にかかる電圧（V[V]）と電流（I[A]）の関係を示す。この測定は室温20℃で行われたものである。点線は電圧が十分小さいときの曲線の接線を表す。フィラメントの温度係数は$\alpha = 5.3\times10^{-3}$ [1/K] とする。

以下の(4)以外の設問では有効数字2桁の数値で答えよ。答えを導く過程も示せ。

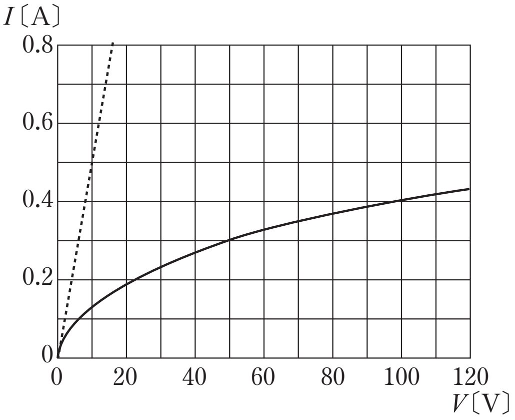


図2

(1)　図2のグラフから値を読みとって，電圧が十分小さくジュール熱の効果が無視できる場合のフィラメントの抵抗 R [Ω] を求めよ。

(2)　0℃での抵抗 [Ω] を求めよ。

(3)　電球のフィラメントに100Vの電圧を加えたときのフィラメントの温度を求めよ。

(4)　図3に示すように，この電球を抵抗と電池に接続する。電球にかかる電圧，電流，電池の起電力，および抵抗を，それぞれ，V[V]，I[A]，E[V]，R_x[Ω] とし，電池の内部抵抗は無視できるものとする。このとき，電流 I を V，E，R_x を用いて表せ。

(5)　図3の回路において，E＝80V，R_x＝100 Ωとするとき，電球にかかる電圧 V[V] と電球での消費電力 W[W] を求めよ。

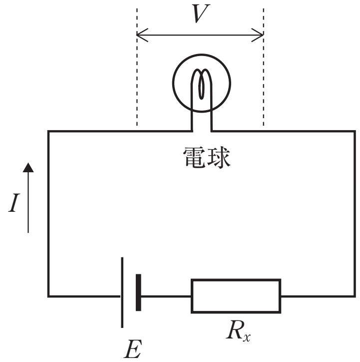


図3

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 37 講　確認テスト

次の問題に答えなさい。設問の解答は解答群より１つ選びなさい。

図１のグラフは豆電球ＰとＱに加わる電圧と流れる電流の関係を示している。このグラフを用いて，［ア］～［ク］に入る最も適切な数値を選びなさい。ただし，電池の内部抵抗は無視できるものとする。

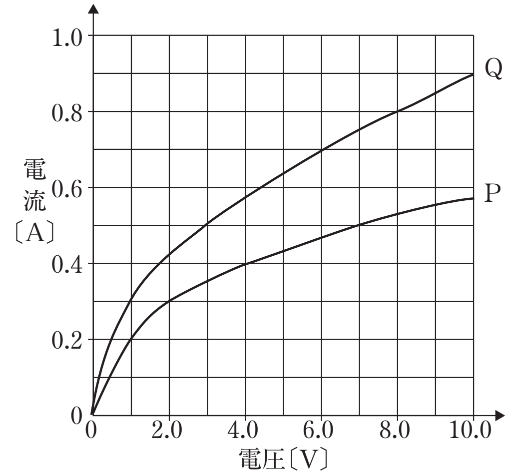


図１

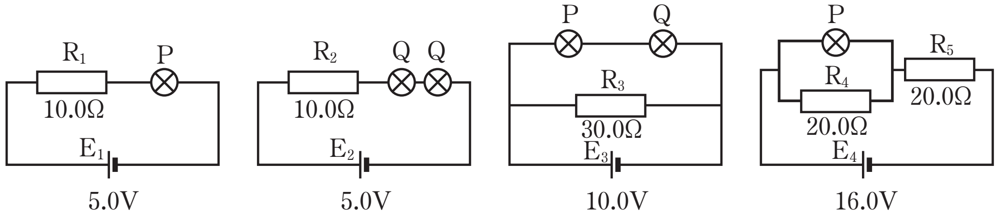


図２　図３　図４　図５

(1)　起電力 5.0V の電池 E_1，抵抗値 10.0 Ωの抵抗 R_1 および１個のＰを図２のようにつないだとき，Ｐを流れる電流は［ア］Ａであり，R_1 における電圧降下は［イ］Ｖである。

(2)　起電力 5.0V の電池 E_2，抵抗値 10.0 Ωの抵抗 R_2 および２個のＱを図３のようにつないだとき，Ｑを流れる電流は［ウ］Ａである。

(3)　起電力 10.0V の電池 E_3，抵抗値 30.0 Ωの抵抗 R_3，１個のＰおよび１個のＱを図４のようにつないだとき，Ｐを流れる電流は［エ］Ａであり，Ｐの抵抗値は［オ］Ωである。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(4)　起電力16.0Vの電池E_4，抵抗値20.0 Ωの2個の抵抗R_4とR_5および1個のPを図5のようにつないだとき，Pを流れる電流は［カ］Aであり，Pの抵抗値は［キ］Ωである。また，このとき，R_5を流れる電流は［ク］Aである。

［ア］，［ウ］，［エ］，［カ］，［ク］の解答群

① 0.1　② 0.2　③ 0.3　④ 0.4　⑤ 0.5　⑥ 0.6
⑦ 0.7　⑧ 0.8　⑨ 0.9　⑩ 1.0

［イ］，［オ］，［キ］の解答群

① 2.0　② 3.0　③ 4.0　④ 5.0　⑤ 6.0　⑥ 8.0
⑦ 10.0　⑧ 12.0　⑨ 14.0　⑩ 16.0

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

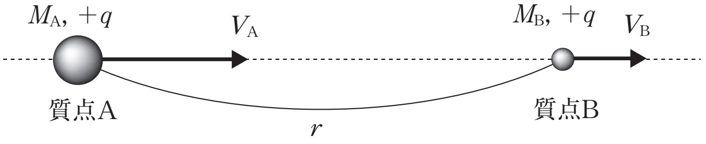
第38講　総合演習5

1

互いに等しい正電荷 $+q$ を持つ2つの質点の，水平な一直線上での運動を考える。はじめ2つの質点は限りなく離れており，質量 M_{A} の質点Aが，初速度 V_0 で，静止した質量 M_{B} $(M_{\mathrm{A}} > M_{\mathrm{B}})$ の質点Bに，その左側から近づいてくる。2つの質点が限りなく離れた状態での位置エネルギーを0とし，クーロンの法則の比例定数を k として以下の問に答えよ。ただし，速度は右向きを正の方向とし，2つの質点に働く万有引力は無視する。

(1) 2つの質点が限りなく離れている，はじめの状態での全エネルギーと全運動量を求めよ。

(2) 図のように，2つの質点間の距離が r まで近づいたとき，質点A，Bの速度はそれぞれ V_{A} および V_{B} であり，$V_{\mathrm{A}} > V_{\mathrm{B}} > 0$ であった。そのときに成り立つエネルギー保存則と運動量保存則を書け。



(3) 2つの質点間の距離が最小となったときの，質点Aの速度 V_{A}' と質点Bの速度 V_{B}' をそれぞれ求めよ。

(4) 2つの質点間の距離は，最小になった後，時間とともに増加していった。時間が十分に経過して2つの質点が限りなく離れたときの，質点Aの速度 $V_{\infty\mathrm{A}}$ と質点Bの速度 $V_{\infty\mathrm{B}}$ をそれぞれ求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

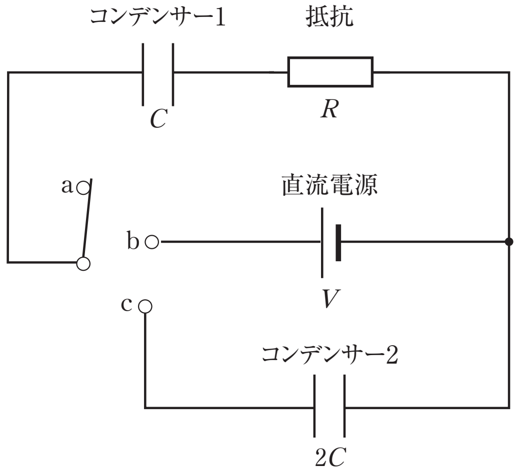
以下の空欄□に適切な式または数値を書き入れなさい。

図のように，内部抵抗の無視できる直流電源と2つのコンデンサー，および抵抗が接続された回路がある。コンデンサー1と2の電気容量はそれぞれ C [F] と $2C$ [F]，抵抗の抵抗値は R [Ω]，直流電源の起電力は V [V] である。スイッチははじめ端子aに接続されており，いずれのコンデンサーの電荷も0 [C] であった。

スイッチを端子bに接続した。その直後のコンデンサー1の電荷は［ア］[C] であるので，抵抗に流れる電流は［イ］[A] である。また，十分時間がたった後に，抵抗に流れる電流は［ウ］[A] であり，コンデンサー1の電荷は［エ］[C]，コンデンサー1に蓄えられた静電エネルギーは［オ］[J] である。

次に，スイッチを端子cに接続した。十分時間がたったとき，コンデンサー1と2の両端の電位差はどちらも［カ］[V] となっており，このときのコンデンサー1の電荷は［キ］[C]，コンデンサー2の電荷 $Q_2^{(1)}$ は［ク］[C] である。このとき，コンデンサー1と2のもつ静電エネルギーの総和は［ケ］[J] であることから，スイッチを端子cにつなげた後に抵抗 R で発生したジュール熱は［コ］[J] であることがわかる。

さらに，スイッチを端子bと端子cに交互に接続した。スイッチを切り替える間隔は十分長くとった。スイッチを n 回目に端子cに接続した後，十分時間がたったときのコンデンサー2の電荷 $Q_2^{(n)}$ [C] を $Q_2^{(n-1)}$ [C] を使って表すと，$Q_2^{(n)} =$［サ］となる。スイッチをさらに何度も繰り返し切り替えるとやがてコンデンサー2の電荷は変化しなくなった。このときの電荷 $Q_2^{(\infty)}$ は［シ］[C] である。



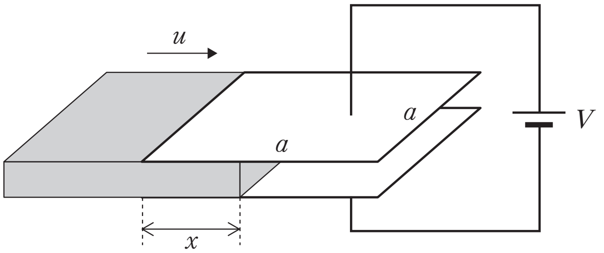
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

一辺の長さが a の正方形の極板を使った電気容量 C の平行板コンデンサーがある。電圧 V の電池に接続されている極板間には，同形で同じ厚さの比誘電率が4である誘電体が挿入できるようになっている。極板間隔は a に比べて十分小さいものとする。

1．極板が電池につながれた状態で極板間の電位差を V に保ったまま，十分ゆっくりと速さ u で誘電体を挿入する過程を考える。図のように，x だけ挿入したときのコンデンサーの電気容量は〔　1　〕と表される。誘電体をさらに Δx だけ挿入したときのコンデンサーの電気容量の変化分は〔　2　〕×〔　3　〕となるので，極板上の電荷の変化量は〔　4　〕×〔　5　〕と表される。したがって，Δx だけ挿入する過程で回路を流れる電流は〔　6　〕×〔　7　〕となることがわかる。また，この過程で，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは〔　8　〕×〔　9　〕だけ変化する。このエネルギー変化分は電池が電荷を運ぶ仕事〔　10　〕×〔　11　〕と，誘電体を挿入するために外から加えられた力 F がする仕事 $F\times\Delta x$ の合計に等しい。このことから外から加えられた力 F の大きさは〔　12　〕×〔　13　〕で，向きが〔　14　〕方向であることがわかる。



2．次に誘電体を完全に挿入して十分長い時間がたった後に電池を外し，誘電体をゆっくりと完全に引き抜く。このとき，引き抜いた後の極板間の電位差は〔　15　〕となり，誘電体を引き抜く前後で，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーの変化量は〔　16　〕となる。

〔　1　〕の選択肢

a）$\dfrac{x+a}{a}C$　b）$\dfrac{2x+a}{a}C$　c）$\dfrac{3x+a}{a}C$　d）$\dfrac{4x+a}{a}C$

e）$\dfrac{4a+x}{4a}C$　f）$\dfrac{4a-x}{4a}C$　g）$\dfrac{4a+3x}{4a}C$　h）$\dfrac{4a-3x}{4a}C$

i）$\dfrac{a}{x+a}C$　j）$\dfrac{a}{2x+a}C$　k）$\dfrac{a}{3x+a}C$　l）$\dfrac{a}{4x+a}C$

m）$\dfrac{4a}{4a-x}C$　n）$\dfrac{4a}{4a-2x}C$　o）$\dfrac{4a}{4a-3x}C$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

〔　2　〕,〔　4　〕,〔　6　〕,〔　8　〕,〔　10　〕,〔　12　〕,〔　15　〕,〔　16　〕の選択肢

a）$\frac{C}{2}$　b）C　c）$\frac{3C}{2}$　d）$3C$

e）$4C$　f）$6C$　g）$\frac{V}{2}$　h）V

i）$2V$　j）$3V$　k）$4V$　l）$6V$

m）$\frac{CV}{2}$　n）CV　o）$\frac{3CV}{2}$　p）$3CV$

q）$4CV$　r）$6CV$　s）$\frac{CV^2}{2}$　t）CV^2

u）$\frac{3CV^2}{2}$　v）$3CV^2$　w）$4CV^2$　x）$6CV^2$

〔　3　〕,〔　5　〕,〔　7　〕,〔　9　〕,〔　11　〕,〔　13　〕の選択肢

a）$\frac{1}{a}$　b）Δx　c）x　d）a

e）$\frac{\Delta x}{a}$　f）$\frac{x}{a}$　g）u　h）$\frac{u}{a}$

〔　14　〕の選択肢

a）コンデンサーから引き抜く　b）コンデンサーに挿入する

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第38講　確認テスト

図1のような，電圧が120Vと70Vの直流電源V_1とV_2，抵抗値が200 Ω，50 Ωおよび40 Ωの抵抗R_1，R_2，R_3，そして3個のスイッチS_1，S_2，S_3からなる回路がある。

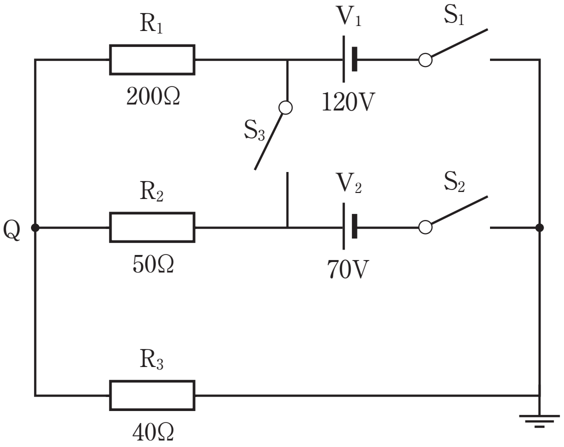


図1

1．スイッチS_1とS_3を閉じて，S_2を開いている場合，抵抗R_1を流れる電流は〔　1　〕Aであり，抵抗R_2を流れる電流は〔　2　〕Aとなる。また点Qの電位は〔　3　〕Vであり，抵抗R_1で発生するジュール熱は，毎秒〔　4　〕Jとなる。

2．スイッチS_1とS_2を閉じて，S_3を開いている場合，抵抗R_1を流れる電流は〔　5　〕Aであり，抵抗R_2を流れる電流は〔　6　〕Aとなる。また点Qの電位は〔　7　〕Vであり，抵抗R_3で発生するジュール熱は，毎秒〔　8　〕Jとなる。

次に，図2のように，スイッチS_3を容量が0.006μFのコンデンサーCと抵抗に取りかえた。

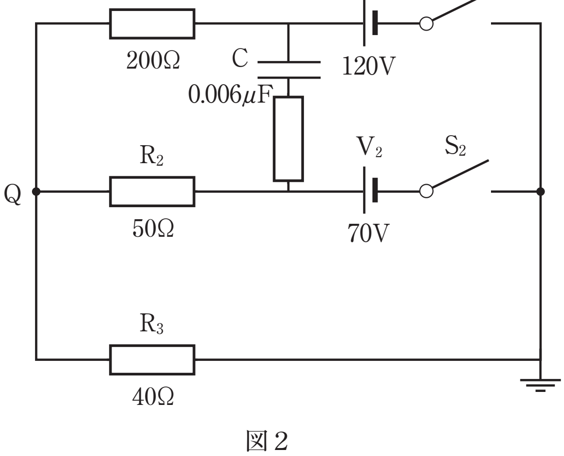


図2

３．スイッチ S_1 を閉じて，S_2 を開いている場合，コンデンサーに蓄えられる電気量は〔　9　〕$\times 10^{-6}$ C であり，蓄えられるエネルギーは〔　10　〕$\times 10^{-6}$ J となる。

４．スイッチ S_1 と S_2 を閉じている場合は，コンデンサーに蓄えられる電気量は〔　11　〕$\times 10^{-6}$ C であり，蓄えられるエネルギーは〔　12　〕$\times 10^{-6}$ J となる。

〔　1　〕～〔　12　〕の選択肢

a）　0.1	b）　0.2	c）　0.3	d）　0.4
e）　0.6	f）　0.8	g）　1.0	h）　1.2
i）　2.0	j）　5.0	k）　7.5	l）　10.0
m）　15.0	n）　18.0	o）　20.0	p）　30.0
q）　40.0	r）　50.0	s）　60.0	t）　80.0

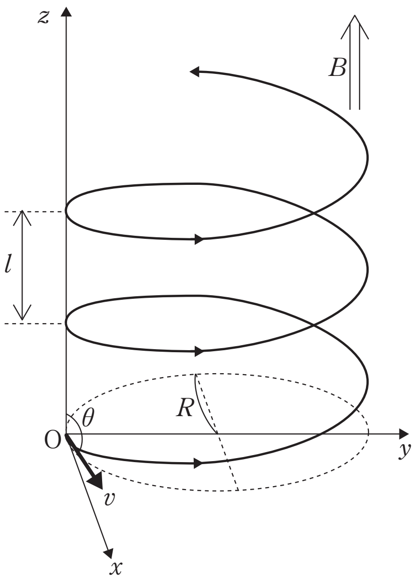
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 39 講　ローレンツ力

1

次の文章を読み，設問に答えよ。

真空中に一様な磁束密度 B の磁界がある。図に示すように，xyz 軸をとる。磁界の方向は z 軸とする。その磁界の中に速さ v の電子（質量 m，電荷 $-e$（$e > 0$））を zx 平面上で，z 軸の正の方向に対して θ（$< 90°$）の角度で入射させる。この点を原点 O とする。ただし，電子は原点 O を通過後から磁界の影響を受けた運動をするものとする。



(1)　電子が原点 O に入射したとき，電子の速さの y 成分は 0 である。x 成分と z 成分を求めよ。

(2)　電子が磁界から受ける力を何というか答えよ。

(3)　電子が磁界から受ける力の大きさ F を求めよ。

(4)　電子が磁界から受ける力は，大きさが一定で電子の運動方向とつねに垂直にはたらく。電子は磁界に垂直な平面内で等速円運動を行うので，z 軸方向から見たとき，電子は図の破線のような半径 R の等速円運動を行う。等速円運動の半径 R を求めよ。

(5)　R を用いずに円運動の周期 T を表せ。

(6)　電子の運動は(4)と z 軸方向の運動を合成した，磁界の向きを軸とするらせん運動となる。図に示すらせん運動のピッチ l を求めよ。

(7)　原点 O に入射させる電子を初速 0 から電位差 V で加速した。このときの電子の速さ v を m，e，V で表せ。

(8)　(4)と(7)の答から $\dfrac{e}{m}$ を R，V，B，θ で表せ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

電子の比電荷を測定する実験に関して，以下の問に答えよ。ただし，重力の影響は無いものとし，解答の際には問題に与えられている記号だけを用いること。

問1

図1のように，陰極から出た電子（電荷 $-e$ [C]，質量 m [kg]）が陽極の小孔を通った後に，平行板電極（偏向板）に入る。このときの電子の速さを v_0 [m/s] とする。偏向板に電圧がかけられていないときには，電子は偏向板を通過後，蛍光面のOの位置に当たった。偏向板に電圧 V [V] がかけられているときには，電子は蛍光面のAの位置に当たった。

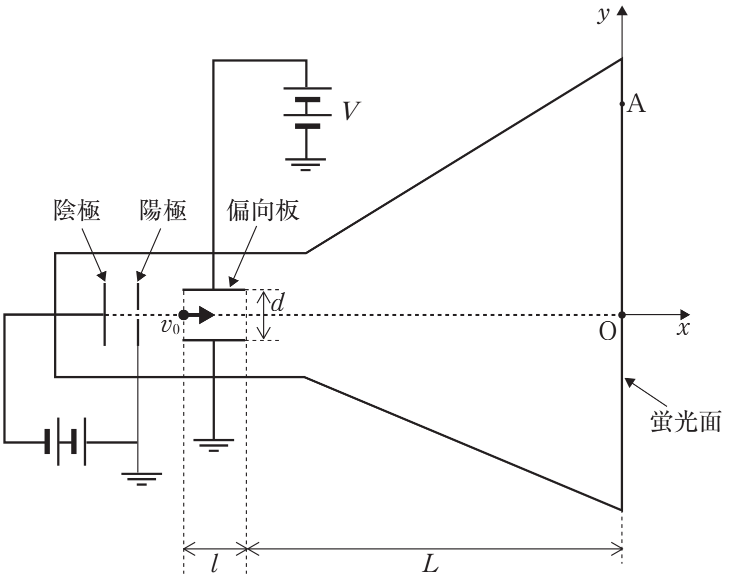


図1

(1) 図1のように x 軸，y 軸をとり，偏向板の長さを l [m]，偏向板間隔を d [m] とする。偏向板に電圧がかけられているときに偏向板を通過中の電子は，x 軸方向，y 軸方向にそれぞれどのような運動をするか。また，それぞれの方向の力の大きさと加速度の大きさを求めよ。

(2) 偏向板通過後の電子は，x 軸方向，y 軸方向にそれぞれどのような運動をするか。また，それぞれの方向の力の大きさと速さを求めよ。

(3) 偏向板の端から蛍光面までの距離を L [m] とし，蛍光面の位置Oから A までの距離 a [m] を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問２

図２のように，図１の装置に加えて，電磁石を偏向板の両側におく。偏向板に電圧 V をかけたまま電磁石に電流を流し，一様な磁場（磁界）を紙面に垂直方向にかける。流れる電流を調節して，磁場が磁束密度 B [T] になったとき，蛍光面のＡ点に当たっていた電子が蛍光面のＯ点に当たるようになった。

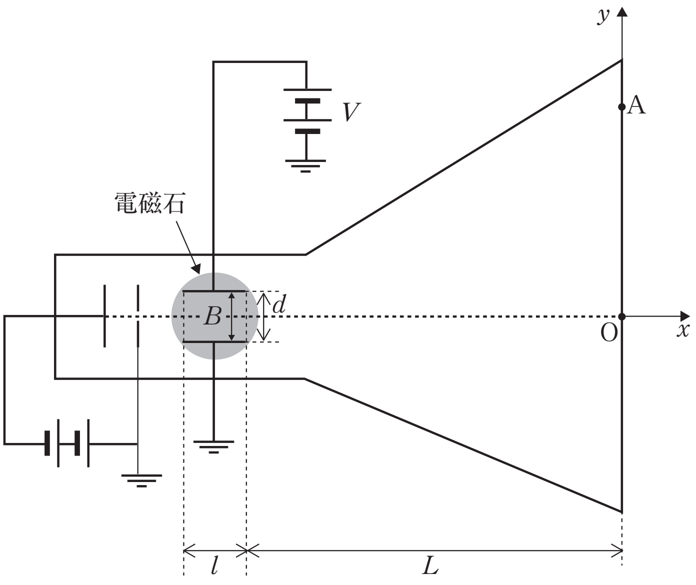


図２

(1)　磁場の向きは，紙面に対して表から裏へか，裏から表へか答えよ。

(2)　この実験から決まる速さ v_0 [m/s] を求めよ。

問３　この実験で直接測ることのできる量は，電圧 V，磁束密度 B，装置に関する量 d，l，L とスクリーン上での電子の位置 a である。問１と問２の結果から，電子の比電荷 $\dfrac{e}{m}$ [C/kg] をこの実験によって決定する式を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

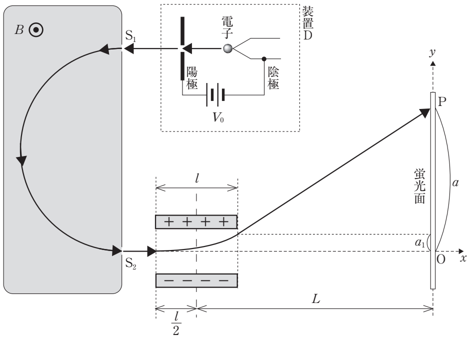
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第39講　確認テスト

真空中で行われた次の2つの実験〔A〕と〔B〕につき，以下の問に答えなさい。ただし，電子は紙面内で運動し，重力や地球磁場の影響は無視できるものとする。解答はそれぞれにつき解答群より1つ選びなさい。

〔A〕 図のような装置D（破線で囲まれた部分）で，陰極から初速度0 [m/s] で出た質量 m [kg]，電荷 $-e$ [C] の電子が電圧 V_0 [V] で加速された後，スリット S_1 を通り，紙面に垂直に裏から表へ向かう（記号⊙で示す）磁束密度 B [Wb/m^2] の一様な磁場（灰色部分）に垂直に入射する。その後，磁場中で半円の軌道を描き，スリット S_2 から出てきた。



(1) スリット S_1 を通る直前の電子の速さはいくらか。 **1** [m/s]

① $\sqrt{\dfrac{eV_0}{m}}$　② $\dfrac{eV_0}{m}$　③ $\sqrt{\dfrac{m}{eV_0}}$　④ $\dfrac{m}{eV_0}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{2eV_0}{m}}$　⑥ $\dfrac{2eV_0}{m}$　⑦ $\sqrt{\dfrac{m}{2eV_0}}$　⑧ $\dfrac{m}{2eV_0}$

(2) 磁場の中を運動する電子の半円軌道の半径はいくらか。 **2** [m]

① $\sqrt{\dfrac{eB^2}{2mV_0}}$　② $\dfrac{eB^2}{2mV_0}$　③ $\sqrt{\dfrac{2mV_0}{eB^2}}$　④ $\dfrac{2mV_0}{eB^2}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{eB}{2mV_0}}$　⑥ $\dfrac{eB}{2mV_0}$　⑦ $\sqrt{\dfrac{2mV_0}{eB}}$　⑧ $\dfrac{2mV_0}{eB}$

(3) 電子が S_1 から S_2 まで進むのに要する時間はいくらか。 **3** [s]

① $\sqrt{\dfrac{mV_0}{\pi eB}}$　② $\dfrac{mV_0}{\pi eB}$　③ $\sqrt{\dfrac{2mV_0}{\pi eB}}$　④ $\dfrac{2mV_0}{\pi eB}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{\pi mV_0}{eB^2}}$　⑥ $\dfrac{\pi mV_0}{eB^2}$　⑦ $\sqrt{\dfrac{\pi m}{eB}}$　⑧ $\dfrac{\pi m}{eB}$

〔B〕 スリット S_2 を出た電子（速さを v [m/s] とする）は長さ l [m] の平行板電極の間を通り，入射方向（x 軸方向）に垂直に置かれた蛍光面に当たる。平行板電極によって作られる電場の強さは E [V/m]，その向きは電子の入射方向に垂直で下向きとする。蛍光面

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

上で電場の向きに平行に y 軸をとる。電子が電場からの静電気力を受けずに直進した場合に到達する蛍光面上の点をO，静電気力を受けた場合の到達点をPとし，間の距離を a [m] とする。また，平行板電極中央と蛍光面との距離を L [m] とする。

(1)　平行板電極の間を通過中の電子の y 軸方向の加速度の大きさはいくらか。[4] [m/s^2]

① $\dfrac{eE}{m}$　② $\dfrac{E}{me}$　③ $\dfrac{mE}{e}$　④ $\dfrac{E}{e}$

⑤ meE　⑥ eE　⑦ me^2E　⑧ e^2E

(2)　平行板電極を出る瞬間の電子の y 軸方向の変位（図の a_1）はいくらか。[5] [m]

① $\dfrac{mel^2E}{2v^2}$　② $\dfrac{melE}{2v^2}$　③ $\dfrac{mlE}{2v^2}$　④ $\dfrac{el^2E}{2mv^2}$

⑤ $\dfrac{elE}{2mv}$　⑥ $\dfrac{l^2E}{2mev}$　⑦ $\dfrac{mlE}{2ev}$　⑧ $\dfrac{ml^2E}{2ev^2}$

(3)　このときの電子の速度の y 軸方向の成分はいくらか。[6] [m/s]

① $\dfrac{mlE}{ev}$　② $\dfrac{ml^2E}{e}$　③ $\dfrac{lE}{mev}$　④ $\dfrac{lE}{me}$

⑤ $\dfrac{elE}{mv}$　⑥ $\dfrac{elE}{m}$　⑦ $\dfrac{el^2E}{mv}$　⑧ $\dfrac{el^2E}{m}$

(4)　OP間の距離 a はいくらか。[7] [m]

① $\dfrac{el^2LE}{mv}$　② $\dfrac{el^2LE}{mv^2}$　③ $\dfrac{elLE}{mv}$　④ $\dfrac{elLE}{mv^2}$

⑤ $\dfrac{lLE}{mev}$　⑥ $\dfrac{lLE}{mev^2}$　⑦ $\dfrac{ml^2LE}{ev}$　⑧ $\dfrac{mlLE}{ev^2}$

(5)　$l=0.020$ m，$L=0.30$ m，$E=1.2\times10^4$ V/m，$v=8.0\times10^6$ m/s の条件で実験を行ったところ，$a=0.25$ m が得られた。これらの数値から電子の比電荷の値を求めなさい。[8] $\times10^{[9]}$ C/kg

[8] の解答群

① 1.0　② 1.4　③ 1.8　④ 2.2

⑤ 2.6　⑥ 3.0　⑦ 3.4　⑧ 3.8

⑨ 4.2　⑩ 4.6

[9] の解答群

① 5　② 6　③ 7　④ 8

⑤ 9　⑥ 10　⑦ 11　⑧ 12

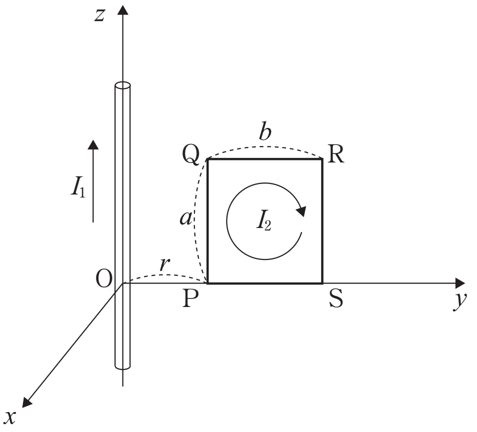
⑨ 13　⑩ 14

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第40講　電流と磁場

1

図のように，真空中で直角座標の z 軸上に十分長い導線があり，z 軸の正の向きに電流 I_1 が流れている。また，長方形のコイル PQRS が yz 面内にあり，図の向きに電流 I_2 が流れている。ここで，辺 PQ の長さは a，辺 QR の長さは b である。また辺 SP は y 軸上にあり，辺 PQ の z 軸からの距離は r である。真空の透磁率を μ_0 として以下の文中の［　　］内に入れるのに適当なものを対応する解答群の中からひとつ選びなさい。



電流 I_1 が辺 PQ の位置につくる磁界の強さ H は［(1)］であり，この磁界によって辺 PQ が受ける力の大きさは H を使うと［(2)］と表され，I_1 を使うと［(3)］と表される。ここで力の向きは［(4)］の向きである。同様にして辺 RS が電流 I_1 から受ける力の大きさは［(5)］と表され，その向きは［(6)］の向きである。

また，辺 QR が電流 I_1 から受ける力の向きは［(7)］の向きで，辺 SP が受ける力の向きは［(8)］の向きであり，辺 QR が受ける力と辺 SP が受ける力の合力の大きさは［(9)］となる。

以上のことから，コイル全体が電流 I_1 から受ける合力の大きさは［(10)］で［(11)］の向きとなる。

一方，コイルがつくる磁界が電流 I_1 におよぼす力の向きは［(12)］の向きで，その大きさは［(13)］である。

解答群

(1)　〔1〕 $\dfrac{I_1}{2r}$　〔2〕 $\dfrac{I_1}{2r^2}$　〔3〕 $\dfrac{I_1}{2\pi r}$　〔4〕 $\dfrac{I_1}{2\pi r^2}$

(2)　〔1〕 $\mu_0 H I_1 a$　〔2〕 $\mu_0 H I_2 a$　〔3〕 $\mu_0 H I_1 b$　〔4〕 $\mu_0 H I_2 b$

(3)　〔1〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi r}$　〔2〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 b}{2\pi r}$　〔3〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi r^2}$　〔4〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 ab}{2\pi r^2}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(4)
〔1〕 x 軸の正　〔2〕 x 軸の負
〔3〕 y 軸の正　〔4〕 y 軸の負
〔5〕 z 軸の正　〔6〕 z 軸の負

(5)
〔1〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 b}{2\pi(r+a)}$　〔2〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi(r+b)}$
〔3〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi(r+b)^2}$　〔4〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 ab}{2\pi(r+a)^2}$

(6)
〔1〕 x 軸の正　〔2〕 x 軸の負
〔3〕 y 軸の正　〔4〕 y 軸の負
〔5〕 z 軸の正　〔6〕 z 軸の負

(7)
〔1〕 x 軸の正　〔2〕 x 軸の負
〔3〕 y 軸の正　〔4〕 y 軸の負
〔5〕 z 軸の正　〔6〕 z 軸の負

(8)
〔1〕 x 軸の正　〔2〕 x 軸の負
〔3〕 y 軸の正　〔4〕 y 軸の負
〔5〕 z 軸の正　〔6〕 z 軸の負

(9)
〔1〕 0　〔2〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 b}{2\pi(r+a)}$
〔3〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi(r+b)}$　〔4〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 ab}{2\pi(r+a)^2}$

(10)
〔1〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi(r+b)}$　〔2〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 b}{2\pi(r+a)}$
〔3〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 a^2}{2\pi(r+b)^2}$　〔4〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 ab}{2\pi r(r+b)}$

(11)
〔1〕 x 軸の正　〔2〕 x 軸の負
〔3〕 y 軸の正　〔4〕 y 軸の負
〔5〕 z 軸の正　〔6〕 z 軸の負

(12)
〔1〕 x 軸の正　〔2〕 x 軸の負
〔3〕 y 軸の正　〔4〕 y 軸の負
〔5〕 z 軸の正　〔6〕 z 軸の負

(13)
〔1〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi(r+b)}$　〔2〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 b}{2\pi(r+a)}$
〔3〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 a^2}{2\pi(r+b)^2}$　〔4〕 $\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 ab}{2\pi r(r+b)}$

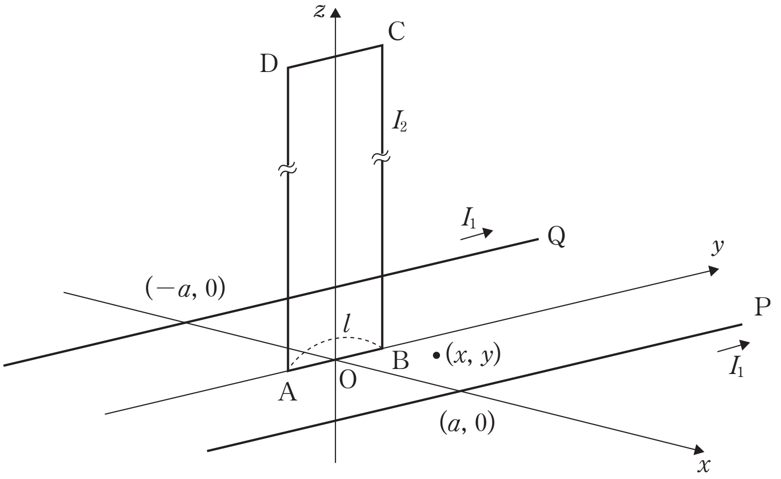
ⓒRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，xy 面内の２点$(a,\ 0)$と$(-a,\ 0)$のそれぞれを通り y 軸に平行な２本の導線 P と Q の両方に，$+y$ 方向に電流 I_1 [A] を流す。また，長方形のコイル ABCD が yz 面内につるされており，辺 CD は y 軸に平行に固定されている。辺 DA と CB は十分長く，辺 AB は xy 面内で x 軸方向に自由に動くことができる。辺 AB の長さは l [m]，質量は m [kg] であり，他の辺の質量は無視できる。真空の透磁率を μ_0 [N/A^2] として，以下の問に答えよ。ただし，重力の影響は無視する。



⑴　P の電流が，２つの導線にはさまれた xy 面上の点$(x,\ y)$につくる磁場（磁界）は，$+x$ 方向，$-x$ 方向，$+y$ 方向，$-y$ 方向，$+z$ 方向，$-z$ 方向のいずれかを答えよ。また，Q の電流がつくる磁場はどの方向かを答えよ。

⑵　点$(x,\ y)$における磁場 H [A/m] を求めよ。

⑶　⑵において$|x|$は a より十分小さいと仮定して，$|\beta|$が１よりきわめて小さい場合の近似式$\dfrac{1}{1-\beta} \fallingdotseq 1+\beta$を用いて，$H$を書き直せ。

次に，コイルに電流 I_2 [A] を流し，軽く触れたところ，辺 AB は原点 O 付近で x 軸方向に単振動を始めた。

⑷　単振動をするためには，I_2 は，A → B の向きか，あるいは B → A の向きかを答えよ。

⑸　⑶の結果を用いて，辺 AB が原点から x [m] の距離にあるとき，辺 AB に働く力 F [N] を求めよ。

⑹　この単振動の周期 T [s] を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第40講　確認テスト

以下の[1]から[10]にあてはまる最も適切な答えを各解答群から１つ選びなさい。ただし，同じ番号をくり返し選んでもよい。数値を選ぶ場合は最も近い値を選ぶものとする。

図１のように$d>0$として，$(0,\ 0,\ d)$ [m] と$(0,\ 0,\ -d)$ [m] を通りそれぞれx軸に平行に固定された２本の導線ⅠとⅡにx軸の正の方向に大きさI [A] の電流を流す。ただし，真空の透磁率をμ_0 [N/A^2] として，以下の問に答えよ。

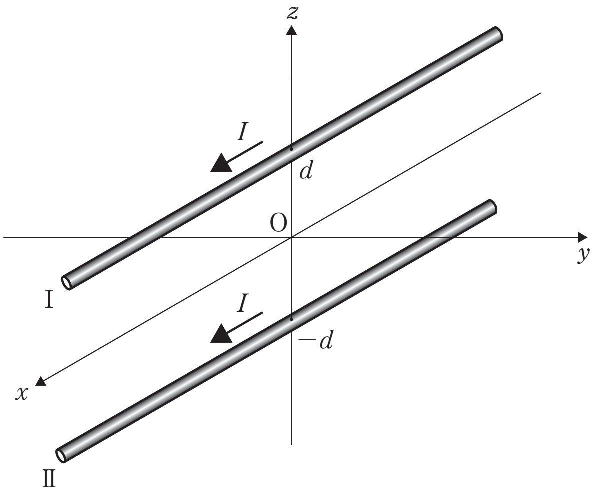


図１

(1)　導線Ⅰに流れる電流I [A] が導線Ⅱの位置につくる磁場により導線Ⅱが受ける力の大きさは単位長さあたり[1] [N] で，向きは[2]方向である。導線Ⅰが原点Oにつくる磁束密度の大きさは[3] [T] で，向きは[4]である。

導線Ⅰと導線Ⅱがy軸上の任意の点$(0,\ y,\ 0)$ [m] につくる磁束密度は，それぞれがつくる磁束密度のベクトル和として求まり，その大きさは[5] [T] で，その向きは$y>0$のとき[6]の方向で，$y<0$のとき[7]の方向である。

[1]，[3]の解答群

① $\dfrac{\mu_0 I}{\pi d}$　② $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi d}$　③ $\dfrac{\mu_0 I}{4\pi d}$　④ $\dfrac{\mu_0 I}{8\pi d}$　⑤ $\dfrac{\mu_0 I^2}{\pi d}$　⑥ $\dfrac{\mu_0 I^2}{2\pi d}$

⑦ $\dfrac{\mu_0 I^2}{4\pi d}$　⑧ $\dfrac{\mu_0 I^2}{8\pi d}$　⑨ $\dfrac{\mu_0 I^2}{\pi d^2}$　⓪ $\dfrac{\mu_0 I^2}{2\pi d^2}$　ⓐ $\dfrac{\mu_0 I^2}{4\pi d^2}$　ⓑ $\dfrac{\mu_0 I^2}{8\pi d^2}$

[2]，[4]，[6]，[7]の解答群

① $+x$　② $-x$　③ $+y$　④ $-y$　⑤ $+z$　⑥ $-z$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

[5]の解答群

① $\dfrac{\mu_0 I}{\pi\sqrt{d^2+y^2}}$　② $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi\sqrt{d^2+y^2}}$　③ $\dfrac{\mu_0 I}{4\pi\sqrt{d^2+y^2}}$　④ $\dfrac{\mu_0 I}{8\pi\sqrt{d^2+y^2}}$

⑤ $\dfrac{\mu_0 I|y|}{\pi(d^2+y^2)}$　⑥ $\dfrac{\mu_0 I|y|}{2\pi(d^2+y^2)}$　⑦ $\dfrac{\mu_0 I|y|}{4\pi(d^2+y^2)}$　⑧ $\dfrac{\mu_0 I|y|}{8\pi(d^2+y^2)}$

⑨ $\dfrac{\mu_0 Iy^2}{\pi(d^2+y^2)}$　⓪ $\dfrac{\mu_0 Iy^2}{2\pi(d^2+y^2)}$　ⓐ $\dfrac{\mu_0 Iy^2}{4\pi(d^2+y^2)}$　ⓑ $\dfrac{\mu_0 Iy^2}{8\pi(d^2+y^2)}$

⑵　次に，図２に示すように $l>0$ として，$\left(\dfrac{l}{2},\ 0,\ 0\right)$ [m] と $\left(-\dfrac{l}{2},\ 0,\ 0\right)$ [m] を通り，それぞれ y 軸に平行な固定された十分に長い導線 AA′ と BB′ を加え，この導線の上に長さ l [m]，質量 m [kg] の太さの無視できる導体棒 ab を置く。導体棒 ab と導線 AA′，BB′ の間には摩擦はなく導体棒はこの導線の上をなめらかにそして x 軸に常に平行に動くものとする。

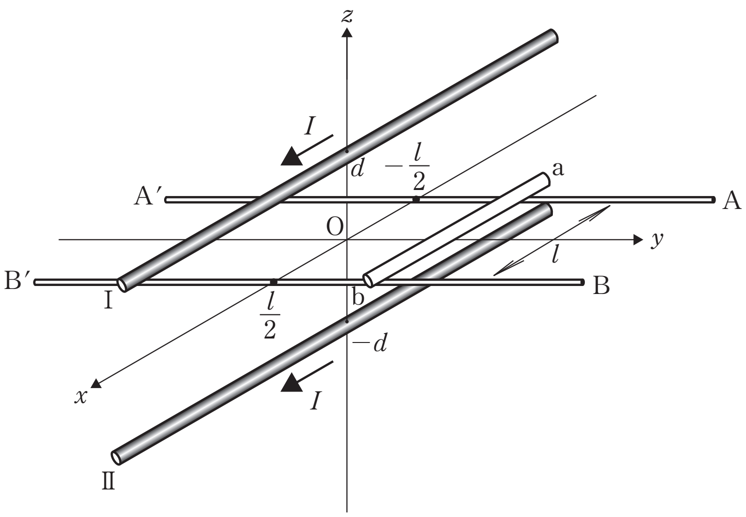


図２

今，y 軸の正の位置 s [m] の場所に導体棒を置き，導体棒の a から b に向かって大きさ I_0 [A] の電流を流した。ただし，電流 I_0 は I に比べ小さいものとして，導線 AA′，BB′ を流れる電流がつくる磁場は無視できるものとする。このとき導体棒には[8] [N] の力が[9]の方向に作用する。s [m] が d [m] に比べ十分に小さく，$d^2+s^2 \fallingdotseq d^2$ の近似が成り立つとき，導体棒は単振動を行う。このときの単振動の周期は[10] [s] となる。

[8]の解答群

① $\dfrac{\mu_0 II_0 ls}{\pi\sqrt{d^2+s^2}}$　② $\dfrac{\mu_0 II_0 ls}{2\pi\sqrt{d^2+s^2}}$　③ $\dfrac{\mu_0 II_0 ls}{4\pi\sqrt{d^2+s^2}}$

④ $\dfrac{\mu_0 I I_0 l s}{8\pi\sqrt{d^2+s^2}}$　⑤ $\dfrac{\mu_0 I I_0 l s}{\pi(d^2+s^2)}$　⑥ $\dfrac{\mu_0 I I_0 l s}{2\pi(d^2+s^2)}$

⑦ $\dfrac{\mu_0 I I_0 l s}{4\pi(d^2+s^2)}$　⑧ $\dfrac{\mu_0 I I_0 l s}{8\pi(d^2+s^2)}$　⑨ $\dfrac{\mu_0 I I_0 l s}{\pi\sqrt{(d^2+s^2)^3}}$

⓪ $\dfrac{\mu_0 I I_0 l s}{2\pi\sqrt{(d^2+s^2)^3}}$　ⓐ $\dfrac{\mu_0 I I_0 l s}{4\pi\sqrt{(d^2+s^2)^3}}$　ⓑ $\dfrac{\mu_0 I I_0 l s}{8\pi\sqrt{(d^2+s^2)^3}}$

9 の解答群

①　$+x$　②　$-x$　③　$+y$　④　$-y$　⑤　$+z$　⑥　$-z$

10 の解答群

① $2\pi\sqrt{\dfrac{\mu_0 I I_0 l}{\pi m d}}$　② $2\pi\sqrt{\dfrac{\mu_0 I I_0 l}{2\pi m}}$　③ $2\pi\sqrt{\dfrac{\mu_0 I I_0 l}{4\pi m d}}$　④ $2\pi\sqrt{\dfrac{\mu_0 I I_0 l}{\pi m d^2}}$

⑤ $2\pi\sqrt{\dfrac{\mu_0 I I_0 l}{2\pi m d^2}}$　⑥ $2\pi\sqrt{\dfrac{\mu_0 I I_0 l}{4\pi m d^2}}$　⑦ $2\pi\sqrt{\dfrac{\pi m d}{\mu_0 I I_0 l}}$　⑧ $2\pi\sqrt{\dfrac{2\pi m d}{\mu_0 I I_0 l}}$

⑨ $2\pi\sqrt{\dfrac{4\pi m d}{\mu_0 I I_0 l}}$　⓪ $2\pi\sqrt{\dfrac{\pi m d^2}{\mu_0 I I_0 l}}$　ⓐ $2\pi\sqrt{\dfrac{2\pi m d^2}{\mu_0 I I_0 l}}$　ⓑ $2\pi\sqrt{\dfrac{4\pi m d^2}{\mu_0 I I_0 l}}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

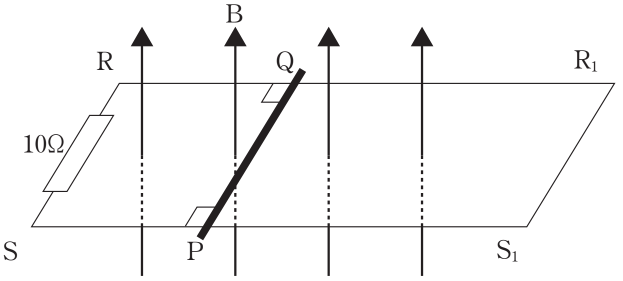
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第41講　電磁誘導1

1

図のように磁束密度 B [T] の一様な磁場中に，長さ 0.25m の導線 PQ が，2 本の平行な導線 RR_1，SS_1 に垂直に，その両端を接して置かれている。RS 間には 10 Ωの抵抗がつながれており，閉回路を作る面 PQRS は磁場に垂直であるとする。また，すべての導線および接触点の電気抵抗は無視してよい。



(1)　PS＝QR＝0.20m，磁束密度を 0.20T のとき，閉回路 PQRS をつらぬく磁束を求めなさい。

(2)　(1)の状態から，磁場が一定の速さで減少し，5×10^{-4} 秒の間に 0.05T になった。このとき閉回路 PQRSP に誘導される起電力の大きさはいくらか。また，その結果生じる電流の大きさはいくらか。

(3)　磁束密度を 0.20T に戻してじゅうぶん時間が経過した後，導線 PQ を 4.0cm/s の速さで RR_1，SS_1 に沿って右方へ動かすとする。このとき，閉回路 PQRSP に誘導される起電力の大きさを求めよ。また，導線 PQ が磁場から受ける力の大きさ，外力のする仕事率を求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

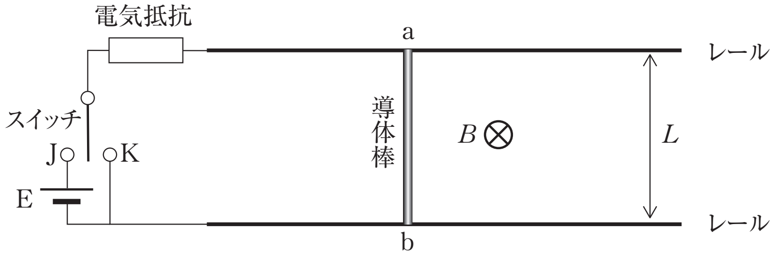
< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，磁束密度の大きさBの一様な磁場（磁界）が鉛直下向き（紙面に垂直に表から裏に向かう向き）に加えられた水平面内に，十分に長い2本のレールが間隔Lで平行に置かれている。レールの上には，長さLの細い導体棒がレールと直角に置かれている。レールの一端には起電力Eの電源，抵抗値Rの電気抵抗およびスイッチが接続されている。レールおよび導体棒の電気抵抗，レールと導体棒の間の摩擦，回路の自己誘導は無視できるものとする。

最初，スイッチは図のように開いた状態で，導体棒は静止している。



次の文章の［　　］には適した数式または数値を，｛　　｝には語群から最も適当なものを1つ選んで番号を記入せよ。同じものを何度選んでもよい。

〔語　群〕

① aからb　　② bからa　　③ 左　　④ 右

⑤ 増　加　　⑥ 減　少

スイッチをJに入れた直後，導体棒を流れる電流（以下，単に「電流」と書く）の向きは｛ ア ｝，大きさは［ イ ］である。電流が磁場から受ける力の向きは｛ ウ ｝向き，大きさは［ エ ］である。この力を受けて導体棒は運動をはじめる。導体棒に生じる誘導起電力は電流の大きさを｛ オ ｝させる。導体棒の速さをvとすると，誘導起電力の大きさは［ カ ］である。vが増加すると誘導起電力の大きさが｛ キ ｝するので，電流が磁場から受ける力は｛ ク ｝する。したがって，vは時間の経過とともに［ ケ ］に近づく。

次にスイッチをKに切り替えた。導体棒の速さをvとすると，誘導起電力によって流れる電流の向きは｛ コ ｝，大きさは［ サ ］である。電流が磁場から受ける力の向きは｛ シ ｝向き，大きさは［ ス ］である。時間がじゅうぶん経過するとvは［ セ ］になる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

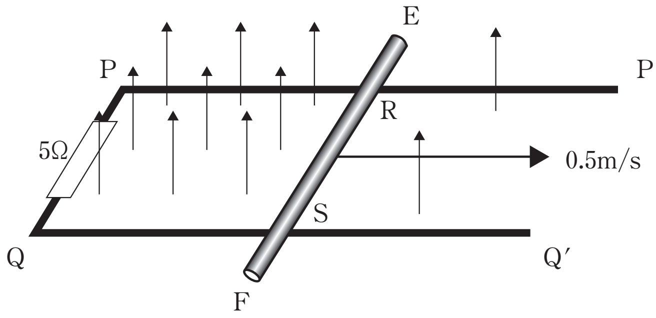
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第41講　確認テスト

図に示すようにコの字型に配置された導線P′PQQ′がある。導線PP′と導線QQ′は間隔0.1mをへだてて平行に置かれており，P点とQ点の間には5Ωの抵抗が挿入されている。導線EFは導線PP′と導線QQ′上をなめらかに接触しながら，はじめPQの位置から，一定の速さ0.5m/sで動くものとする。ただし，導線の抵抗は0Ωとする。また，導線EFが導線PP′および導線QQ′上で接触している点をそれぞれ点Rおよび点Sと呼ぶことにする。このとき，一様な磁束密度10Wb/m^{2}の磁場が，長方形PQSRの平面に垂直に存在している。

1秒経過後に長方形PQSRを通る磁束は［1］Wbとなる。従って，この回路に発生する誘導起電力は［2］Vとなる。また，抵抗に流れる電流は［3］Aであり，抵抗で消費されるエネルギーは1秒間で［4］Jとなる。

磁場の中を電流が導線EFに流れることにより導線EFは力を受ける。この力の大きさは［5］Nである。



［1］，［2］，［3］，［4］，［5］の解答群

①　0.05　　②　0.1　　③　0.2　　④　0.5

⑤　1.0

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

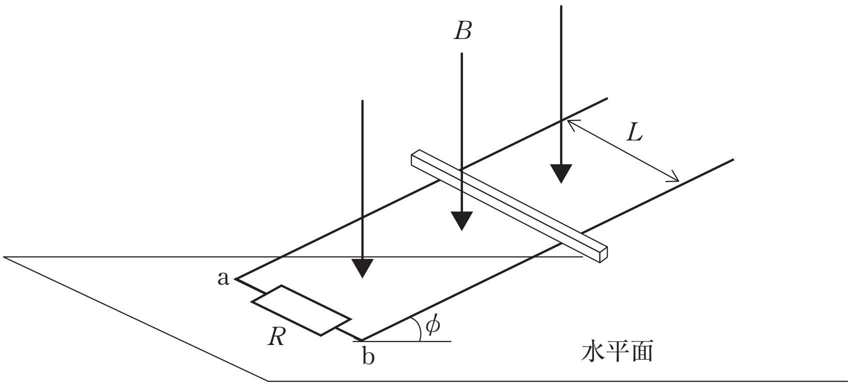
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 42 講　電磁誘導２

1

図のように，電気抵抗が無視できる金属棒を間隔 L で平行に並べてレールをつくり，水平面に対して傾斜角 ϕ で設置した。レールの下端 a，b は電気抵抗値 R の抵抗でつないである。ここで，レールと抵抗は動かないものとする。一様な磁束密度 B の磁界を鉛直下向きに印加した状態で，電気抵抗が無視できる質量 m の金属棒をレールの上に水平に静かに置いた。棒とレールとの摩擦は無視でき，棒はレールに対して常に直交しているものとする。重力加速度を g として，次の問に答えよ。



(1)　棒が動き始めたとき，抵抗に流れる電流の向きは図中の a → b と b → a のどちらか。理由をつけて答えよ。

(2)　棒が速さ v で動いているとき，抵抗に流れる電流の大きさを求めよ。

(3)　十分に時間が経過した後の棒の速さを求めよ。このとき，棒はレール上にあるものとする。

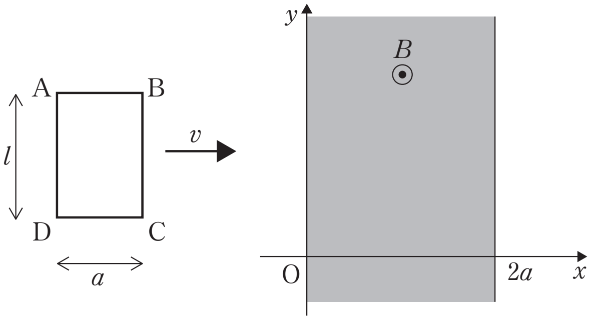
(4)　(3)の状態のとき，抵抗で単位時間あたり発生する熱エネルギー Q と重力が棒にする仕事率 P との比 $\dfrac{Q}{P}$ を求めよ。

< Note >

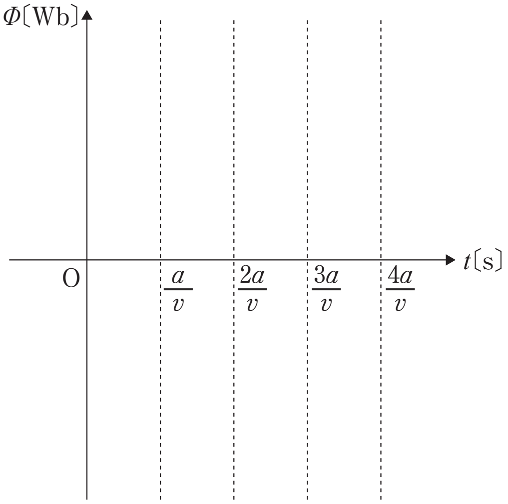
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，紙面に垂直で裏から表に向かう一様な磁束密度 B（[T] または [Wb/m^2]）の磁場が $0 \leqq x \leqq 2a$ [m] の領域にある。いま，長方形の1巻きコイル ABCD を x−y 平面上で，辺 AB を x 軸に平行にしたまま，一定の速さ v [m/s] で x 軸の正の方向へ移動させる。このコイルの抵抗を R [Ω]，辺 AB，CD の長さを a [m]，辺 AD，BC の長さを l [m] とする。コイル ABCD の辺 BC が y 軸と重なったときの時刻を $t=0$ [s] として，以下の問に答えよ。ただし，自己誘導および重力の効果は無視する。答えのグラフの横軸 t の範囲は $0 \leqq t \leqq \dfrac{4a}{v}$ [s] とせよ。



(1)　紙面の裏から表の向きにコイルを貫く磁束 Φ [Wb] の時間変化を下図に書き込め。



(1)の解答欄

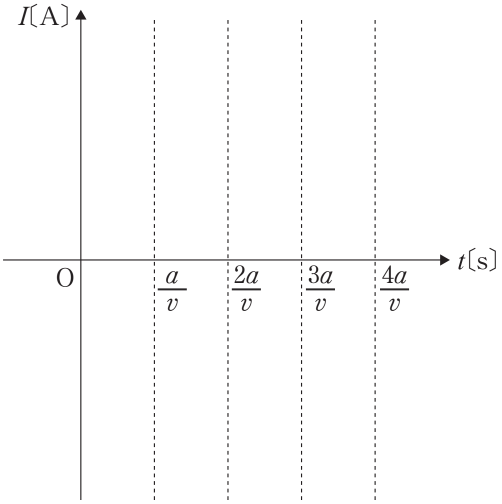
(2)　時刻 $t=0$ [s] から $t=\dfrac{a}{v}$ [s] の間に，コイルに流れる電流 I [A] を求めよ。ただし，紙面の表から見て反時計回りに流れる電流を正とする。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)　コイルに流れる電流 I [A] の時間変化を下図に書き込め。ただし，紙面の表から見て反時計回りに流れる電流を正とする。



(3)の解答欄

(4)　時刻 $t=0$ [s] から $t=\frac{4a}{v}$ [s] の間に発生するジュール熱はいくらか。

(5)　時刻 $t=0$ [s] から $t=\frac{a}{v}$ [s] の間に加えた外力の大きさと向きを求めよ。

(6)　コイルを一定の速度で移動させるために時刻 $t=0$ [s] から $t=\frac{4a}{v}$ [s] の間に加えた外力のした仕事はいくらか。

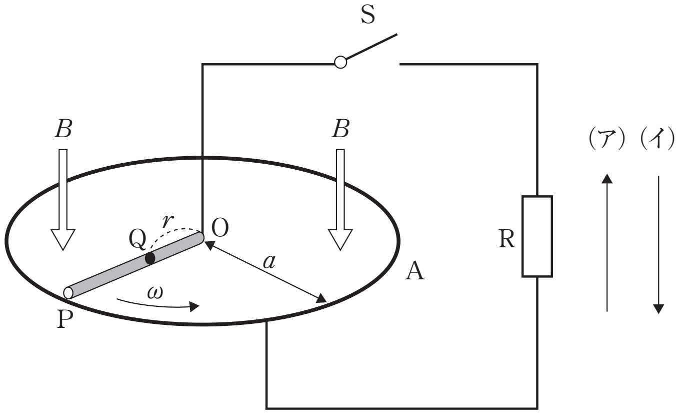
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図のように，磁束密度 B［T］の鉛直下向きで一様な磁場の中に，半径 a［m］の円形導線 A が水平に置かれている。また長さが a［m］で軽く細い導体棒 OP を，円形導線 A の中心にその O 端を，また P 端を円形導線 A に接触するように置いた。さらに導体棒 OP と円形導線 A との間に，スイッチ S と抵抗値 R［Ω］の抵抗 R を接続した。ただし導体棒 OP と円形導線 A の抵抗は無視でき，また両者の表面はなめらかであり摩擦は無視できるものとして，以下の各問に答えよ。



いまスイッチを開いた状態で，導体棒 OP の P 端を円形導線 A に常に接触させながら，一定の角速度 ω［rad/s］で図のような向きに回転させた。

(1)　導体棒 OP 中の電子は OP と共に回転するので，磁場からローレンツ力を受ける。O 端から距離 r［m］の点 Q にある電子（電荷 $-e$［C］）が受けるローレンツ力の大きさは，［　あ　］［N］であり，その結果，電子は［　い　］の向きに移動する。

(2)　導体棒 OP が 1 秒間当たりに磁場を横切る面積は，［　う　］［m^2］である。

(3)　導体棒 OP が 1 秒間当たりに横切る磁束が誘導起電力に等しいとすると，導体棒 OP の両端に発生する誘導起電力の大きさは，［　え　］［V］である。

次にスイッチ S を閉じると

(4)　抵抗 R には図の［　お　］の向きに電流が流れ，その強さは［　か　］［A］である。

(5)　導体棒 OP が磁場から受ける力の大きさは，［　き　］［N］である。

(6)　導体棒 OP を一定の角速度 ω［rad/s］で回転させるために必要な外力の仕事率は，［　く　］［W］である。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

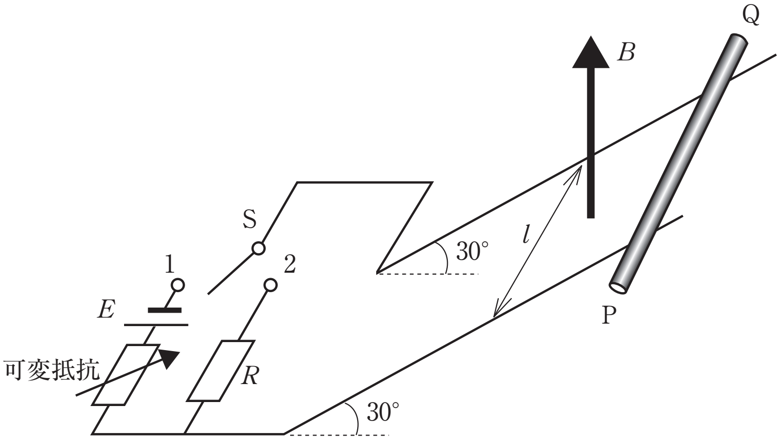
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 42 講　確認テスト

図のように，間隔 l で互いに平行で，かつ水平に対して 30° 傾いて設置された２本の金属製のレール（以下，単にレールと記す）があり，レールの下端には起電力 E の電池，可変抵抗，抵抗値 R の抵抗，および切り替えスイッチ S からなる回路が接続されている。レールのある領域には，磁束密度の大きさが B の一様な磁場（磁界）が鉛直上向きにかけられている。

レールに直交するように質量 m の導体棒 PQ を置き，スイッチ S を端子１の側に入れ，可変抵抗の値を調節したところ，導体棒 PQ は手を離してもレール上で静止し続けた。

可変抵抗および抵抗値 R の抵抗以外の電気抵抗，導体棒 PQ とレールとの間の摩擦はいずれも無視できるものとし，重力加速度の大きさを g とする。



問１　導体棒 PQ を流れる電流が磁場から受ける力のレールに平行な成分の大きさはいくらか。正しいものを，次の①～⑥から一つ選びなさい。［ 1 ］

① $\dfrac{mg}{4}$　② $\dfrac{mg}{2}$　③ $\dfrac{\sqrt{3}\,mg}{2}$　④ mg

⑤ $\dfrac{3mg}{2}$　⑥ $2mg$

問２　このとき，可変抵抗の抵抗値はいくらか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。［ 2 ］

① $\dfrac{mgE}{2Bl}$　② $\dfrac{mgE}{Bl}$　③ $\dfrac{EBl}{mg}$　④ $\dfrac{\sqrt{3}\,EBl}{mg}$

⑤ $\dfrac{EBg}{ml}$　⑥ $\dfrac{3EBg}{ml}$　⑦ $\dfrac{mBl}{\sqrt{2}\,Eg}$　⑧ $\dfrac{mBl}{Eg}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

次に，スイッチSを端子2の側に切り替えたところ，導体棒PQはレールに沿って下方に滑りだした。導体棒PQがレールの下端に達することは考えないものとする。

問3　導体棒PQの速さがvとなった瞬間，回路に流れる電流の大きさはいくらか。正しいものを，次の①～⑥から一つ選びなさい。 3

① $\dfrac{vBl}{2R}$　② $\dfrac{\sqrt{3}\,vBl}{2R}$　③ $\dfrac{vBl}{R}$　④ $\dfrac{2vBl}{\sqrt{3}\,R}$

⑤ $\dfrac{\sqrt{3}\,vBl}{R}$　⑥ $\dfrac{2vBl}{R}$

問4　やがて導体棒PQは一定の速さでレール上を運動するようになる。このとき導体棒PQが単位時間に失う重力の位置エネルギーはいくらか。正しいものを，次の①～⑧から一つ選びなさい。 4

① $\dfrac{mgR}{3Bl}$　② $\dfrac{mgR}{2Bl}$　③ $\dfrac{2mgR}{3Bl}$　④ $\dfrac{\sqrt{3}\,mgR}{Bl}$

⑤ $\dfrac{1}{3}\left(\dfrac{mg}{Bl}\right)^2 R$　⑥ $\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{mg}{Bl}\right)^2 R$　⑦ $\dfrac{2}{3}\left(\dfrac{mg}{Bl}\right)^2 R$　⑧ $\sqrt{3}\left(\dfrac{mg}{Bl}\right)^2 R$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 43 講　コイル

1

図のように，起電力 V の電池，抵抗値が各々 R の３つの抵抗，自己インダクタンス L のコイル，スイッチＳをつないだ回路を作った。はじめ，スイッチＳは開いている。電池の内部抵抗およびコイルの抵抗は無視できるものとして以下の問に答えよ。

(1)　スイッチＳを開いた状態で，コイルを流れる電流を求めよ。

次にスイッチＳを閉じた。

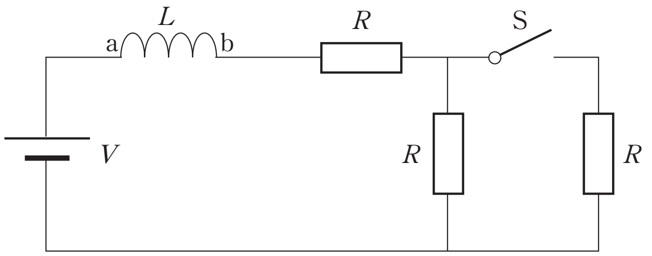
(2)　スイッチＳを閉じた瞬間にコイルに生じる自己誘導起電力の大きさを求めよ。またこのとき，点ａと点ｂではどちらの電位が高くなるか。

(3)　スイッチＳを閉じて十分に時間がたったときにコイルを流れる電流は，スイッチＳを閉じる前と比べてどれだけ変化したか。

さらに再びスイッチＳを開いた。

(4)　スイッチＳを開いた瞬間にコイルに生じる自己誘導起電力の大きさを求めよ。またこのとき，点ａと点ｂではどちらの電位が高くなるか。

(5)　スイッチＳを開いて十分に時間がたったときにコイルに蓄えられるエネルギーは，スイッチＳを開く前と比べてどれだけ変化したか。



ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

単位長さあたりの巻き数が n [回/m] の長いソレノイドコイルに一定の電流 I [A] が流れているとき，内部では強さ nI [A/m] の一様な磁場ができ，外部の磁場は無視できるものとする。以下の文はこのようなコイルについて考察したものである。[　　] に文中の記号を用いた式を記入せよ。ただし符号を考慮すること。

透磁率 μ_0 [Wb/A·m] の空気中におかれたソレノイドコイルについて考えよう。

図1のような断面積 S_1 [m^2]，長さ l [m]，N_1 回巻きのコイル1に一定の電流 I [A] が流れている。電流が変化するとコイル自身を貫く磁束が変化してコイルに誘導起電力が生じる。電流 I [A] が時間 Δt [s] の間に ΔI [A] だけ変化するとき，コイルを貫く磁束の変化は [(ア)] [Wb] である。このときコイルの1巻きあたりには [(イ)] [V] の誘導起電力が生じるので，コイル全体では [(ウ)] [V] の誘導起電力が生じる。このことからコイル1の自己インダクタンスは [(エ)] [H] であることがわかる。

このコイル1の内側にそれと同じ長さで断面積 $S_2(< S_1)$ [m^2]，N_2 回巻きのコイル2を図2のように両端をそろえて挿入する。まず，外側のコイル1だけに一定の電流 I [A] が流れている場合を考える。このとき内側のコイル2を貫く磁束は [(オ)] [Wb] である。外側のコイル1を流れる電流が Δt [s] の間に ΔI [A] だけ変化すると，内側のコイル2を貫く磁束が変化してコイル2全体に [(カ)] [V] の誘導起電力が生じる。このことからコイル1とコイル2の相互インダクタンスは [(キ)] [H] であることが分かる。

次に内側のコイル2だけに一定の電流 I [A] が流れている場合を考える。この電流が Δt [s] の間に ΔI [A] だけ変化するとき，前の場合と同様な考察をすると外側のコイル1全体に [(ク)] [V] の誘導起電力が生じることがわかる。

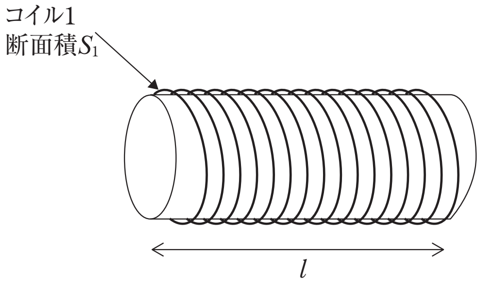


図1

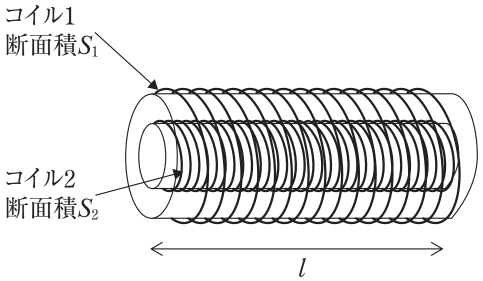


図2

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第43講　確認テスト

次の[1]～[11]の解答を解答欄にマークしなさい。ただし解答の最後の桁は四捨五入によって求めなさい。<解答群>のあるものは最も適当なものを一つ選びその番号をマークしなさい。

図1のように，真空中に，巻き数が n [回]，半径 r [m] で長さが l [m] の十分長いソレノイドAがある。真空の透磁率 μ_0 [N/A^2] とする。

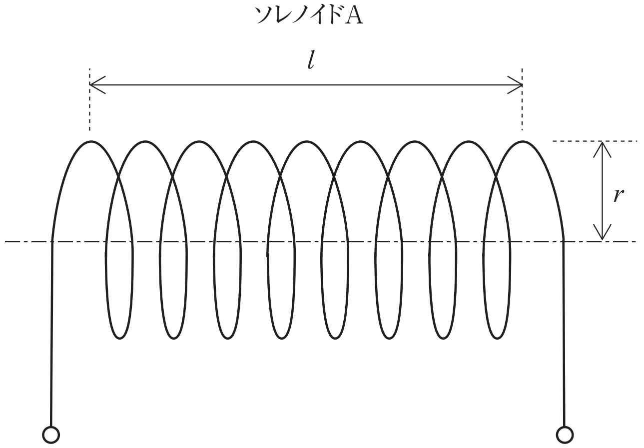


図1

問1　図1のソレノイドAに電流 I [A] を流した。ソレノイドAの内部の磁界の強さ H は $H=$ [1][2]，磁束密度の大きさ B は $B=$ [3][4]となる。よって，このソレノイドAを貫く磁束 ϕ を電流 I を用いて表すと $\phi=$ [1][3][5] I となる。それぞれの単位は磁界の強さ［[6]］，磁束密度［[7]］，磁束［[8]］である。

<[1]～[5]の解答群>

① n	② $\frac{n}{l}$	③ r	④ μ_0
⑤ H	⑥ B	⑦ I	⑧ πr^2

<[6]～[8]の解答群>

① H	② Wb	③ A	④ C
⑤ T	⑥ W	⑦ A/m	⑧ F

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問２　ソレノイドＡに流れている電流 I［A］を Δt 秒間に ΔI［A］だけ変化させた。このとき，ソレノイドＡに生じる誘導起電力の大きさ V_1 は $V_1 =$ [9] となる。

＜ [9] の解答群＞

① $\dfrac{n\phi}{lI}\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$　② $\dfrac{n^2\phi}{lI}\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$　③ $\phi\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$　④ $n\phi\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

⑤ $\dfrac{n\phi l}{\pi r^2}\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$　⑥ $\dfrac{\phi\pi r^2}{l}\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$　⑦ $\dfrac{n\phi}{I}\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

問３　つぎに図２のように，巻き数が $2n$［回］，半径 $\dfrac{r}{3}$［m］の短いソレノイドＢをソレノイドＡの内側に収まるようにした。ここで，ソレノイドＡに流れている電流 I［A］を Δt 秒間に ΔI［A］だけ変化させた。この時，ソレノイドＢに生じる誘導起電力の大きさ V_2 は V_1 の何倍となるか。

$$V_2 = \frac{\boxed{10}}{\boxed{11}} V_1$$

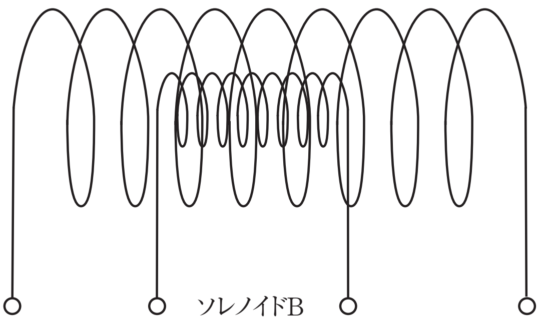


図２

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 44 講　LC 振動回路

1

以下の文章を読んで，各問に答えよ。

図１の回路で，スイッチｂを開いたままスイッチａを閉じて起電力 E [V] の直流電源で電気容量 C [F] のコンデンサーに充電し，十分に時間が経過した後にスイッチａを開いた。

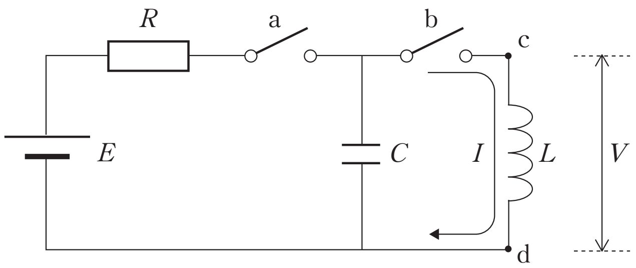


図１

⑴　コンデンサーに蓄えられたエネルギー [J] はいくらか。

次に，スイッチａを開いたままスイッチｂを閉じて，コンデンサーと自己インダクタンス L [H] のコイルを接続した。このとき，コイルに流れる電流 I [A] とコイルの両端の電圧 V [V] は時間の経過にしたがって振動的に変化する。

⑵　コイルに流れる電流の最大値 I_0 [A] を求めよ。

⑶　スイッチｂを閉じた瞬間を時刻 $t=0$ s とし，それ以降の I と V のそれぞれの波形を図２の解答群㈠～㈹から選択せよ。ただし，I は図１に示す向きを正，V は点ｃの電位が点ｄの電位より高い場合を正とする。また，導線およびコイルの抵抗はないものとする。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

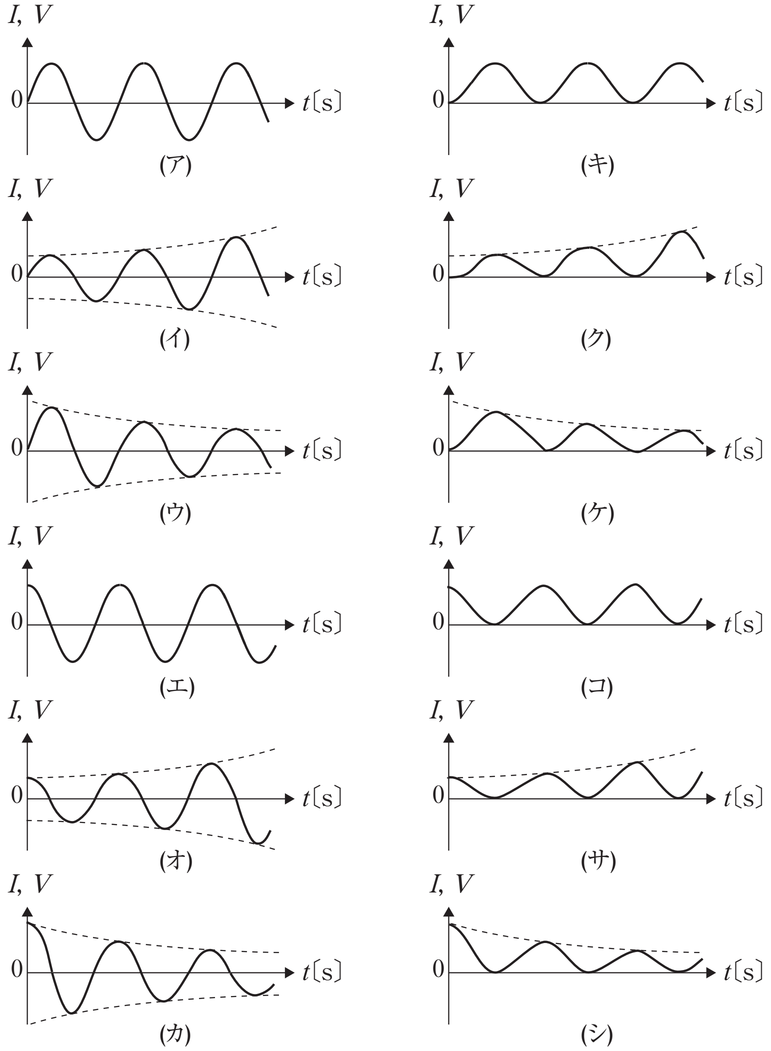


図２

⑷　⑶の振動の周波数［Hz］を求めよ。

このとき，実際には導線やコイルにはわずかながら抵抗が存在するために，最初にコンデンサーに蓄えられたエネルギーは，電流が回路を通過するたびにジュール熱に変わり，回路内の電場と磁場のエネルギーの和は次第に減少する。

⑸　導線やコイルの抵抗を考慮した場合，コイルに流れる電流 I とコイルの両端の電圧 V のそれぞれの時間経過の波形を図２の解答群(ア)〜(シ)から選択せよ。ただし，I と V の正の向きは⑶と同じとする。また，スイッチｂを閉じた瞬間を時刻 $t=0\,\mathrm{s}$ とする。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図1に示すように，起電力 E [V] の電池，二つのスイッチ S_1，S_2，コンデンサー C_1 [F] および自己インダクタンスが L [H] のコイルからなる電気回路がある。この回路に関して次の(1)に答えよ。

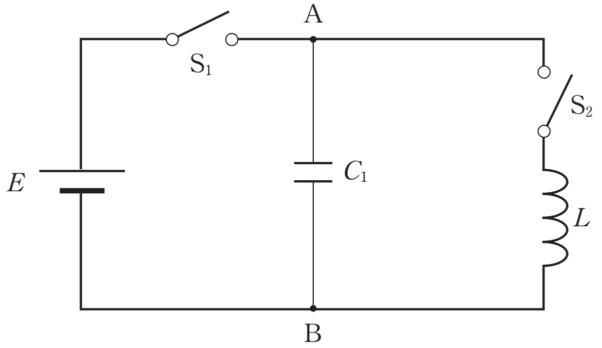


図1

(1)　S_1 を閉じ，かつ S_2 を開いた状態で十分時間が経過したのち S_1 を開いた。次に，S_2 を閉じたところ，コイルの両端の電圧は振動しはじめた。このときの周波数 f_1 [Hz] を，C_1 および L を用いて表せ。

電気容量が未知であるコンデンサー C_2 [F] がある。その電気容量を測定するために，図1の回路に C_2 を接続して図2に示す電気回路にした。図2の回路に関して次の(2)から(4)に答えよ。ただし，C_1 および C_2 には，初め電荷が蓄えられていなかったものとする。

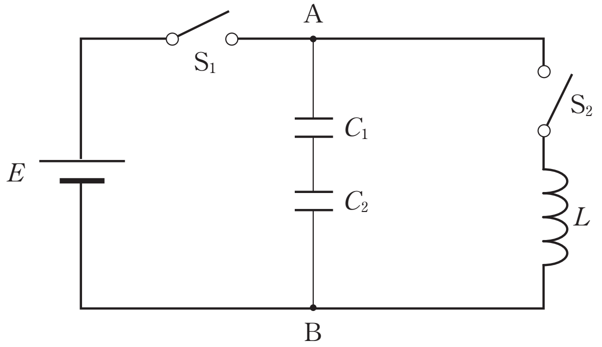


図2

(2)　二つのスイッチがいずれも開いているときの点A，B間の電気容量 C_a [F] を，C_1 および C_2 を用いて表せ。

(3)　S_1 を閉じ，かつ S_2 を開いた状態で十分時間が経過したのち S_1 を開いた。次に，S_2 を閉じたところ，コイルの両端の電圧は(1)の周波数 f_1 より高い周波数 f_2 [Hz] で振動しはじめた。f_2 を，C_1，C_2 および L を用いて表せ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(4)　(3)の周波数 f_2 は，(1)の周波数 f_1 の２倍であった。このときの C_2 の値を求めよ。ただし，$C_1=12\,\mu\mathrm{F}$ とする。

電気容量が未知であるコンデンサー C_3 [F] がある。その電気容量を測定するために，図２の回路に C_3 を接続して図３に示す電気回路にした。図３の回路に関して次の(5)および(6)に答えよ。ただし，C_1，C_2 および C_3 には，初め電荷が蓄えられていなかったものとする。

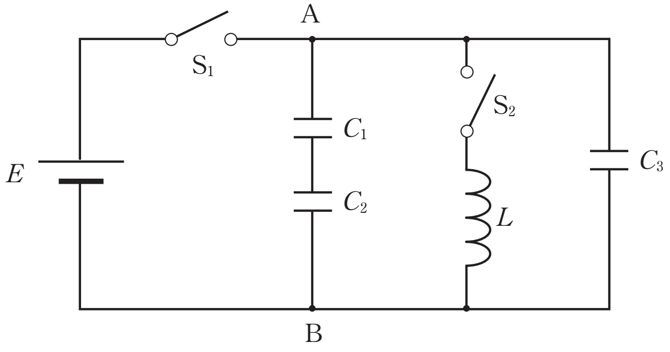


図３

(5)　二つのスイッチがいずれも開いているときの点 A，B 間の電気容量 C_b [F] を，C_1，C_2 および C_3 を用いて表せ。

(6)　S_1 を閉じ，かつ S_2 を開いた状態で十分時間が経過したのち S_1 を開いた。次に S_2 を閉じたところ，コイルの両端の電圧は(1)の周波数 f_1 と同じ周波数で振動しはじめた。このときの C_3 の値を求めよ。ただし，$C_1=12\,\mu\mathrm{F}$ とし，C_2 については(4)で求めた値を用いよ。

ⓒRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

図1でEは起電力 E [V] の電池，R_1，R_2 はそれぞれ R_1 [Ω]，R_2 [Ω] の抵抗，Lは自己インダクタンス L のコイル，Cは電気容量 C [F] のコンデンサー，S_1，S_2，S_3 はスイッチである。以下の設問に答えよ。ただし，電池およびコイル内の内部抵抗は無視できる。また，電流は図1の矢印の方向を正，ab間の電圧はa側が高電位の時を正とする。

Ⅰ　最初すべてのスイッチは開いており，またコンデンサーは帯電していない。S_1 を閉じて十分に時間が経過するとコイルLに流れる電流が一定となった。コイルLに流れる電流，および蓄えられるエネルギーはいくらか。

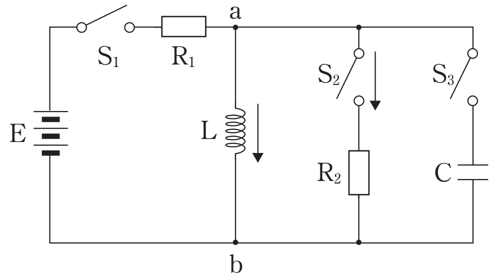


図1

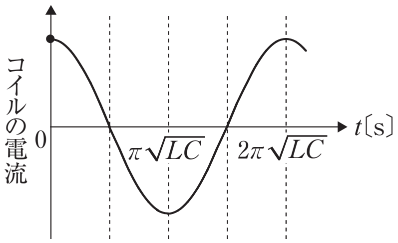


図2

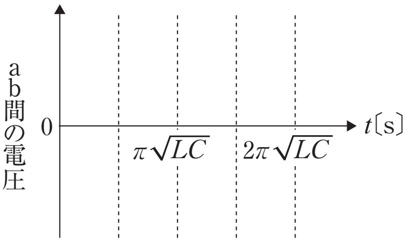


図3

Ⅱ　Ⅰの状態でスイッチ S_2 を閉じた。

(1)　スイッチ S_2 に流れる電流はいくらか。

(2)　その後，スイッチ S_1 を開いた。その直後のスイッチ S_2 に流れる電流，ab間の電圧，および抵抗 R_2 で消費される電力はいくらか。

(3)　その後コイルLを流れる電流は減少する。減少の速さは R_2 の大小によってどう変わるか。理由とともに記せ

Ⅲ　Ⅱでは，Ⅰの状態でスイッチ S_2 を閉じた場合の現象を考えた。ここでは，Ⅱと異なり，Ⅰの状態でスイッチ S_2 のかわりにスイッチ S_3 を閉じた。

(1)　その後，スイッチ S_1 を開くとコイルLに流れる電流は図2のように正弦波的に振動した。周期は $2\pi\sqrt{LC}$ [s] であった。図3の座標を写し，その上にab間の電圧の時間変化の様子を描け。ただし，スイッチ S_1 を開いてからの時間を t [s] とする。

(2)　コイルLの電流が0 [A] となった瞬間に，スイッチ S_3 を開いた。コンデンサーCに蓄えられる電荷はいくらか。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第44講　確認テスト

起電力 E［V］の電池，抵抗値 R［Ω］の抵抗，自己インダクタンス L［H］のコイル，電気容量 C［F］のコンデンサー，スイッチ S_1，S_2 が図1のように接続されている。電池の内部抵抗およびコイルの抵抗は無視できる。最初，すべてのスイッチは開いており，コンデンサーは帯電していない。以下の［　　］に適切な答えを解答群の中から一つ選びなさい。

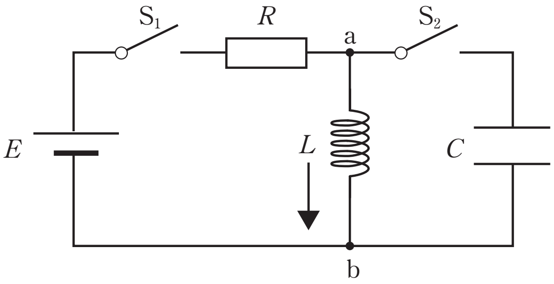


図1

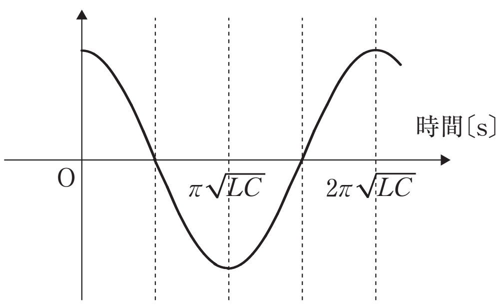


図2

(1)

最初の状態からスイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過するとコイルに流れる電流が一定になった。この時，ab 間の電圧は［①］［V］であり，抵抗を流れる電流は［②］［A］であり，コイルに蓄えられるエネルギーは［③］［J］である。

［①］の解答群：

ア）E　　イ）0　　ウ）$R+L$　　エ）$R+L+C$

オ）$R+L+\dfrac{1}{C}$

［②］の解答群：

ア）ER　　イ）$\dfrac{R}{E}$　　ウ）$\dfrac{E}{R}$　　エ）$\dfrac{E}{R+L}$

オ）$\dfrac{R+L}{E}$

［③］の解答群：

ア）$\dfrac{1}{2}\dfrac{LE}{R}$　　イ）$\dfrac{1}{2}\dfrac{R}{LE}$　　ウ）$\dfrac{1}{2}L\left(\dfrac{E}{R}\right)^2$　　エ）$\dfrac{1}{2}L\left(\dfrac{R}{E}\right)^2$

オ）$\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{LE}{R}\right)^2$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)

(1)の状態でスイッチ S_2 を閉じた。その後，スイッチ S_1 を開くと，コイルを流れる電流は図２のように振動した。この振動の周波数は ④ [Hz] であり，最大振幅は ⑤ [A] であるので，コイルを流れる電流は ⑥ [A] である。なお，スイッチ S_1 を開いてからの時間を t [s] とする。

この後，コイルを流れる電流が 0 A になった瞬間にスイッチ S_2 を開いた。コンデンサーに蓄えられる電荷は ⑦ [C] である。

④ の解答群：

ア） $2\pi\sqrt{LC}$　　イ） $\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{LC}$　　ウ） $\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{L}{C}}$　　エ） $\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{C}{L}}$

オ） $\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

⑤ の解答群：

ア） $\dfrac{R}{2E}$　　イ） $\dfrac{2R}{E}$　　ウ） $\dfrac{2E}{R}$　　エ） $\dfrac{E}{R}$

オ） $\dfrac{R}{E}$

⑥ の解答群：

ア） $\dfrac{2E}{R}\sin\sqrt{LC}\,t$　　イ） $\dfrac{E}{2R}\cos\sqrt{LC}\,t$

ウ） $\dfrac{R}{E}\cos\sqrt{LC}\,t$　　エ） $\dfrac{R}{E}\sin\dfrac{1}{\sqrt{LC}}t$

オ） $\dfrac{E}{R}\cos\dfrac{1}{\sqrt{LC}}t$

⑦ の解答群：

ア） $\dfrac{E}{R}\sqrt{LC}$　　イ） $\dfrac{R}{E}\sqrt{LC}$　　ウ） $\dfrac{E}{R}\sqrt{\dfrac{L}{C}}$　　エ） $\dfrac{E}{R}\sqrt{\dfrac{C}{L}}$

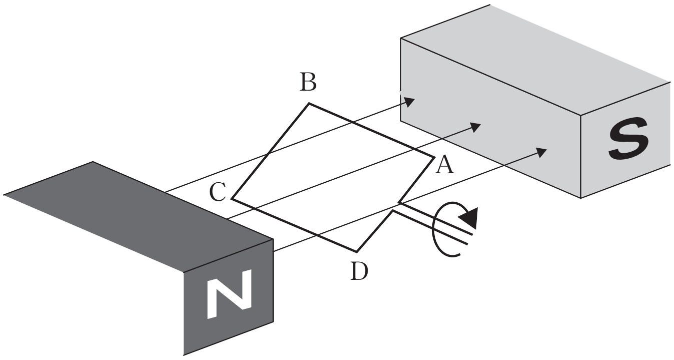
オ） $\dfrac{R}{E}\sqrt{\dfrac{L}{C}}$

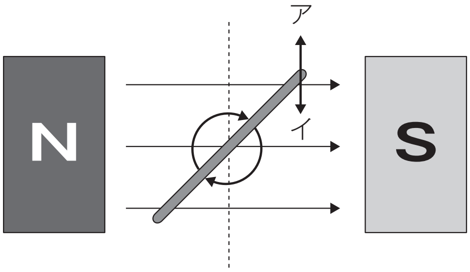
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 45 講　交流１

1

文中の□を適切な式や言葉で埋め，｛　　　｝では正しいものを選択せよ。必要があれば，時間 Δt [s] が非常に小さいときの近似式 $\cos\omega\Delta t \fallingdotseq 1$ と $\sin\omega\Delta t \fallingdotseq \omega\Delta t$ の関係を用いてよい。





図のように，磁束密度 B [Wb/m^2] の一様な磁場中で，磁場に垂直な軸のまわりに，1 巻きの長方形コイル ABCD が一定の角速度 ω [rad/s] で時計回りに回転している。長辺 AB の長さを a [m]，短辺 BC の長さを b [m] とする。コイルの抵抗はないものとする。

コイルの面が磁場に垂直な面と一致する瞬間を時刻 $t=0$ とする。そのとき，コイルを貫く磁束は $\Phi(0)=$ (1) [Wb] である。t [s] 後，コイルの面と磁場に垂直な面とのなす角度は (2) [rad] になる。その時刻に，コイルを貫く磁束は $\Phi(t)=$ (3) [Wb] である。さらに，ごく短い時間 Δt [s] 後の磁束は，$\Phi(t+\Delta t)=$ (4) [Wb] である。したがって，Δt [s] 間に変化する磁束 $\Delta\Phi$ [Wb] は次のようになる。

$$\Delta\Phi=\Phi(t+\Delta t)-\Phi(t)$$

Δt が十分小さいとき，$\Delta\Phi$ は Δt に近似的に比例し，$\Delta\Phi=$ (5) $\cdot\Delta t$ と書ける。

ファラデーの (6) の法則によれば，コイルには起電力 $-\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ が生じる。その値は時間とともに変化し，その大きさが最大になるのは，コイルの面が磁場の方向と ｛(7)：(ア)平行，(イ)垂直｝ のときである。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

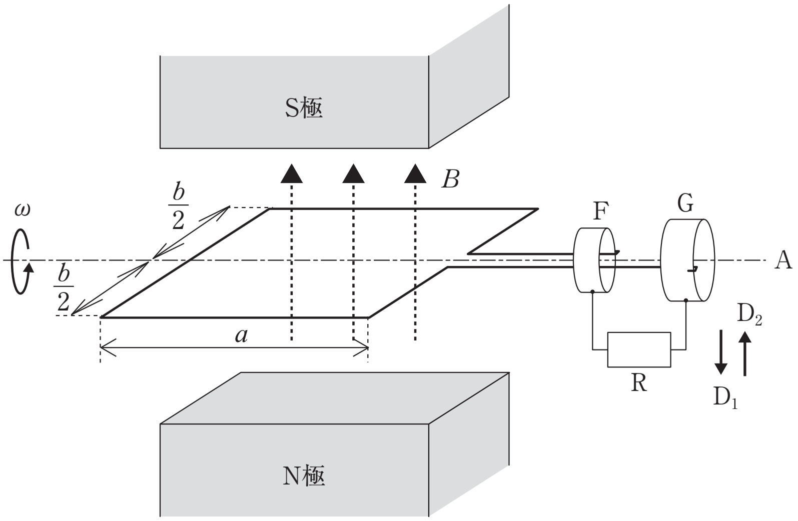
＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第45講　確認テスト

以下の［1］〜［6］にあてはまる答えを各解答群から1つ選びなさい。ただし，同じ番号をくり返し用いてもよい。

図は一巻きのコイルと抵抗値が R［Ω］の電気抵抗Rからなる電気回路である。コイルは辺の長さが a［m］，b［m］の長方形である。図のように磁束密度の大きさが B［$\mathrm{Wb/m^2}$］で鉛直上向きの一様な磁場中にこのコイルを置き，回転軸Aを中心に一定の角速度 ω［rad/s］で図の向きに回転させる。



図

時刻 $t=0$ でコイルは端子F，Gと図のように接しており，水平面を向いている。コイルを貫く磁束 Φ［Wb］を符号まで含めて計算してみよう。まず，$t=0$ で Φ の Φ_0 の値を正と決めると $\Phi_0=$［1］である。回転により磁束とコイルの面のなす角度が変化するため，時刻 t では $\Phi=$［2］$\times\Phi_0$ となる。Φ が時間変化することによってコイルに誘導起電力が生じ，これにより回路に電流（誘導電流）が流れる。微少時間 Δt［s］あたりの Φ の変化量 $\Delta\Phi$［Wb］が負のとき，抵抗Rを流れる電流の向きは図の矢印の［3］である。時刻 t で発生する誘導起電力 V［V］を図1の端子Fに対するGの電位差として測ると V は $\Delta\Phi$ と Δt を使って $V=$［4］と表せる。したがって，V の具体的な時間変化を表す式は［2］より，$V=$［5］$\times\Phi_0$ となる。Rの消費電力の1周期にわたる平均値は［6］［W］である。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

1 の解答群

① $\dfrac{Bab}{2}$　② Bab　③ $2Bab$　④ $\dfrac{Ba^2b^2}{2}$

⑤ Ba^2b^2　⑥ $2Ba^2b^2$　⑦ $\dfrac{B^2a^2b^2}{2}$　⑧ $B^2a^2b^2$

⑨ $2B^2a^2b^2$

2 の解答群

① $\sin\omega t$　② $\cos\omega t$　③ $-\sin\omega t$　④ $-\cos\omega t$

⑤ $1+\sin\omega t$　⑥ $1-\sin\omega t$　⑦ $\omega\sin\omega t$　⑧ $\omega\cos\omega t$

⑨ $-\omega\sin\omega t$　⓪ $-\omega\cos\omega t$　ⓐ $\omega^2\sin\omega t$　ⓑ $-\omega^2\sin\omega t$

ⓒ $\omega^2\cos\omega t$　ⓓ $-\omega^2\cos\omega t$

3 の解答群

① D_1　② D_2

4 の解答群

① $\dfrac{\Delta t}{\Delta\Phi}$　② $\dfrac{\omega\Delta t}{\Delta\Phi}$　③ $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　④ $\dfrac{\Delta\Phi}{\omega\Delta t}$

⑤ $-\dfrac{\Delta t}{\Delta\Phi}$　⑥ $-\dfrac{\omega\Delta t}{\Delta\Phi}$　⑦ $-\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　⑧ $-\dfrac{\Delta\Phi}{\omega\Delta t}$

5 の解答群

① $\sin\omega t$　② $\cos\omega t$　③ $-\sin\omega t$　④ $-\cos\omega t$

⑤ $1+\sin\omega t$　⑥ $1-\sin\omega t$　⑦ $\omega\sin\omega t$　⑧ $\omega\cos\omega t$

⑨ $-\omega\sin\omega t$　⓪ $-\omega\cos\omega t$　ⓐ $\omega^2\sin\omega t$　ⓑ $-\omega^2\sin\omega t$

ⓒ $\omega^2\cos\omega t$　ⓓ $-\omega^2\cos\omega t$

6 の解答群

① $RBab\omega$　② $R(Bab)^2\omega$　③ $R(Bab\omega)^2$　④ $\dfrac{RBab\omega}{2}$

⑤ $\dfrac{R(Bab)^2\omega}{2}$　⑥ $\dfrac{R(Bab\omega)^2}{2}$　⑦ $\dfrac{Bab\omega}{R}$　⑧ $\dfrac{(Bab)^2\omega}{R}$

⑨ $\dfrac{(Bab\omega)^2}{R}$　⓪ $\dfrac{Bab\omega}{2R}$　ⓐ $\dfrac{(Bab)^2\omega}{2R}$　ⓑ $\dfrac{(Bab\omega)^2}{2R}$

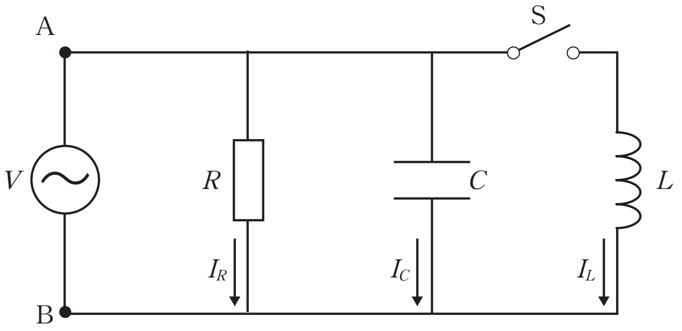
ⓒ 0

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第46講　交流2

1

[　　]にあてはまる最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。図のように，抵抗値 $R=10$ [Ω] の抵抗，電気容量 $C=4.0\times10^{-5}$ [F] のコンデンサー，自己インダクタンス $L=4.0\times10^{-3}$ [H] のコイルが，時間 t [s] とともに変化する電圧 $V=40\sin 500t$ [V] の交流電源につながれている。交流電源の電圧は図のBに対するAの電位を表す。スイッチSは最初閉じられている。



(1) 図のように，抵抗を流れる電流を I_R [A]，コンデンサーを流れる電流を I_C [A]，コイルを流れる電流を I_L [A] とすると，I_R，I_C，I_L はそれぞれ[ア]，[イ]，[ウ]で表わされる。また，抵抗，コンデンサー，およびコイルの消費電力の時間平均はそれぞれ[エ] [W]，[オ] [W]，[カ] [W] となる。

[ア]の解答群

① $-0.25\sin 500t$	② $0.25\sin 500t$
③ $0.25\cos 500t$	④ $-4.0\sin 500t$
⑤ $4.0\sin 500t$	⑥ $4.0\cos 500t$
⑦ $-400\sin 500t$	⑧ $400\sin 500t$
⑨ $400\cos 500t$	

[イ]の解答群

① $-0.80\sin 500t$	② $0.80\sin 500t$
③ $-0.80\cos 500t$	④ $0.80\cos 500t$
⑤ $-2000\sin 500t$	⑥ $2000\sin 500t$
⑦ $-2000\cos 500t$	⑧ $2000\cos 500t$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

[ウ]の解答群

① $-20\sin 500t$　② $20\sin 500t$　③ $-20\cos 500t$　④ $20\cos 500t$

⑤ $-80\sin 500t$　⑥ $80\sin 500t$　⑦ $-80\cos 500t$　⑧ $80\cos 500t$

[エ]，[オ]，[カ]の解答群

① 0.0　② 8.0　③ 16　④ 80

⑤ 160　⑥ 200　⑦ 400　⑧ 1600

(2)　次に，交流電源を $V=40\sin\omega t$ [V] に置き換えて，角周波数 ω [rad/s] を変化させると，角周波数が $\omega_0=$ [キ] [rad/s] のとき，$I_C+I_L=0.0$ [A] となった。このとき，電源を流れる電流の実効値 I_C は [ク] [A] となる。また，ω_0 付近での ω の変化に対する電源を流れる電流の実効値の変化の様子を表わしたグラフは[ケ]である。

[キ]の解答群

① 4.0×10^{-4}　② 2.5×10^{-3}　③ 10　④ 1.0×10^{2}

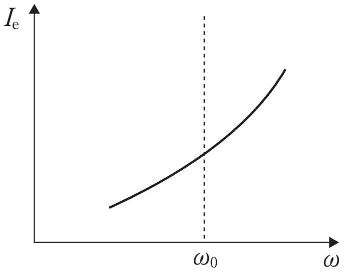
⑤ 4.0×10^{2}　⑥ 2.5×10^{3}　⑦ 1.6×10^{4}　⑧ 6.3×10^{6}

[ク]の解答群

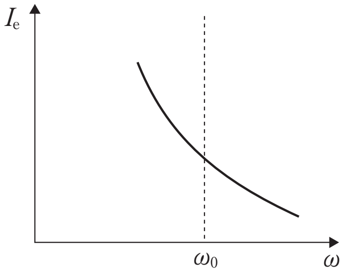
① 0.0　② 1.4　③ 2.0　④ 2.8

⑤ 3.2　⑥ 4.0　⑦ 5.7　⑧ 8.0

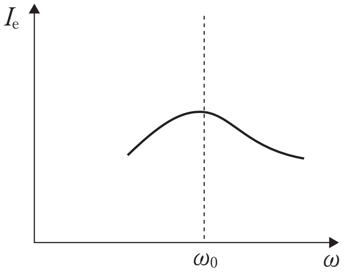
[ケ]の解答群



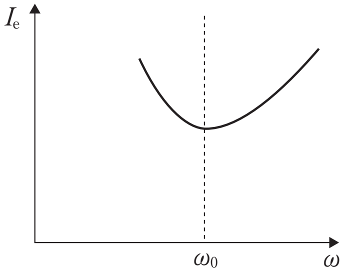
①



②



③



④

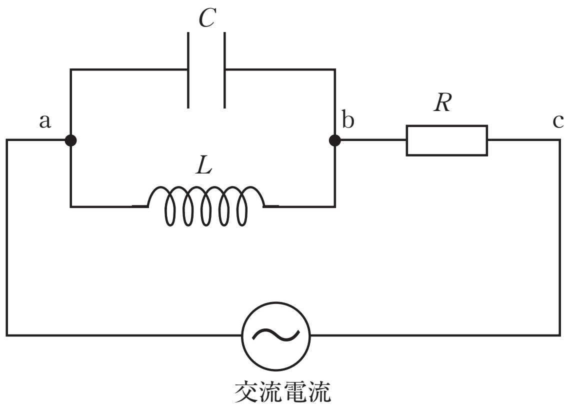
©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように電気容量 C [F] のコンデンサーと自己インダクタンス L [H] のコイルを並列に接続した。さらに，この並列接続に抵抗値 R [Ω] の抵抗を直列に接続し，交流電源につないだ。時間 t [s] に対して ab 間の電圧は $V = V_0 \sin\omega t$ [V] であった。ここで，V_0 [V] は交流電圧の最大値で，ω [rad/s] は角周波数である。以下の問に答えよ。解答にあたっては必要な単位を簡潔な形で [　　　] 内に記入せよ。



(1)　コンデンサーに流れる電流 I_C を三角関数の式によって表せ。

(2)　コイルに流れる電流を正弦関数の式によって表せ。

(3)　コンデンサーで消費される電力 P を三角関数の式によって表せ。

(4)　時間 t [s] に対する V，I_C および P の変化の概略図を示せ。

(5)　抵抗を流れる電流が最小となる角周波数を求めよ。また，そのときの抵抗の両端（bc 間）の電圧を求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

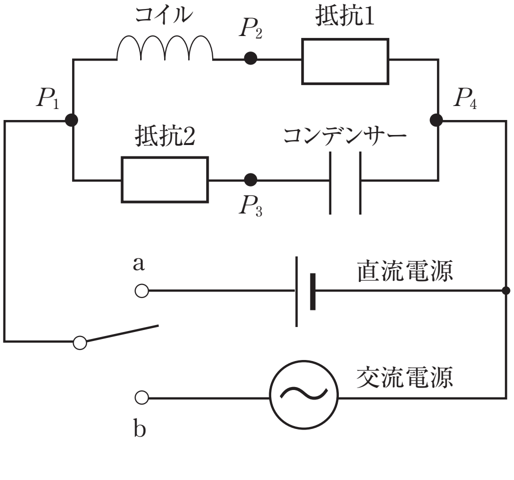
　スイッチ，直流電源，交流電源，コイル，コンデンサー，抵抗１，抵抗２，の回路素子が図のように接続されている。直流電源の起電力は V_0 [V]，コイルの自己インダクタンスは L [H]，コンデンサーの電気容量は C [F]，抵抗１の抵抗値は R_1 [Ω]，抵抗２の抵抗値は R_2 [Ω] である。スイッチの接点の抵抗，直流電源とコイルの内部抵抗，回路素子をつなぐために用いた導線の抵抗は無視できるものとする。

問１　スイッチをａ側に閉じて十分長い時間が経過した後に，抵抗１で消費される電力 [W] を求めよ。

問２　その後，スイッチを開いた。スイッチを開いた直後から十分長い時間が経過するまでの間に回路で消費されるエネルギー [J] を求めよ。

問３　次にスイッチをｂ側に閉じた後，十分長い時間が経過した。P_2 から P_4 へ流れる電流 I を測定した結果，$I=I_0\sin\omega t$ [A] であった。ただし，t は [s] を単位とする時間であり，ω は [rad/s] を単位とする角周波数（角振動数）である。また，P_2P_3 間の電位差を測定した結果，$E=0$ [V] であった。

(1)　抵抗１で消費される平均電力 [W] を求めよ。
(2)　回路素子の値としては C と R_1 だけを用いて，P_3 から P_4 へ流れる電流 [A] を表せ。
(3)　回路素子の値としては C, R_1, R_2 だけを用いて，P_4 を基準とした P_1 の電位 [V] を表せ。
(4)　回路素子の値としては C，R_1，R_2 だけを用いて，コイルの自己インダクタンス [H] を表せ。



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第46講　確認テスト

図１，２は，抵抗が無視できる自己インダクタンス L のコイルと，電気容量 C のコンデンサーのそれぞれを，最大電圧 V_0，角周波数 ω，周期 T の交流電源に接続してつくった回路である。回路に示した矢印の向きを電流 I の正の向きとし，その向きに電流を流そうとする電源電圧 V を正とする。時刻 t における V を $V=V_0\sin\omega t$ として，以下の文中の［　　］内に入れるのに適当なものを解答群の中からひとつ選びなさい。

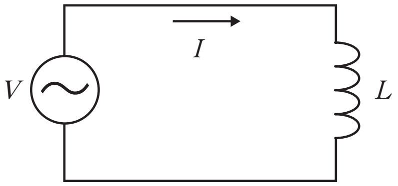


図１

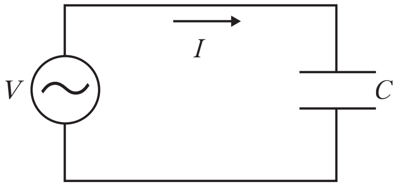


図２

(i)　周期 T と角周波数 ω の間には，$T=$［(1)］の関係がある。

(ii)　図１の回路では，コイルを流れる電流の変化を妨げる向きに自己誘導による起電力が発生し，この起電力と電源電圧の和が０となるので，V と微小時間 Δt あたりの I の変化量 ΔI の間には，$V=$［(2)］$\times\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ の関係が成り立つ。この式は，V が正のときに I は増加し，V が負のときに I は減少することを示している。したがって，I の最大値を I_0 とするとき，V と I の変化の様子を示すグラフは［(3)］である。I の位相は V の位相に対して［(4)］ので，電流は $I=I_0\sin($［(5)］$)$ と表され，I_0 と V_0 の間には，$I_0=$［(6)］$\times V_0$ の関係がある。

(iii)　図２の回路では，コンデンサーの極板上の電気量が時間的に変化する割合に等しい電流が流れるので，I と微小時間 Δt あたりの V の変化量 ΔV の間には，$I=$［(7)］$\times\dfrac{\Delta V}{\Delta t}$ の関係が成り立つ。この式は，V が増加しているときに I は正であり，V が減少しているときに I は負であることを示している。したがって，I の最大値を I_0 とするとき，V と I の変化の様子を示すグラフは［(8)］である。I の位相は V の位相に対して［(9)］ので，電流は $I=I_0\sin($［(10)］$)$ と表され，I_0 と V_0 の間には，$I_0=$［(11)］$\times V_0$ の関係がある。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

解答群

〔1〕 $\dfrac{\pi}{2\omega}$　〔2〕 $\dfrac{2\pi}{\omega}$　〔3〕 $\dfrac{\omega}{2\pi}$　〔4〕 $2r\omega$

〔5〕 $\dfrac{1}{L}$　〔6〕 $\dfrac{1}{\omega L}$　〔7〕 L　〔8〕 ωL

〔9〕 $\dfrac{1}{C}$　〔10〕 $\dfrac{1}{\omega C}$　〔11〕 C　〔12〕 ωC

〔13〕 $\dfrac{3\pi}{4}$だけ進んでいる　〔14〕 $\dfrac{\pi}{2}$だけ進んでいる

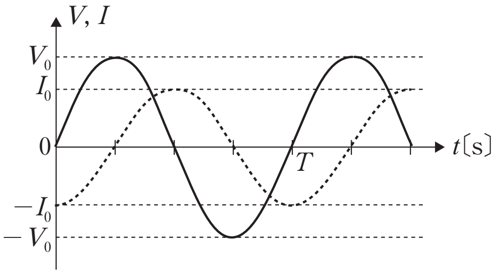
〔15〕 $\dfrac{\pi}{4}$だけ進んでいる　〔16〕 $\dfrac{\pi}{4}$だけ遅れている

〔17〕 $\dfrac{\pi}{2}$だけ遅れている　〔18〕 $\dfrac{3\pi}{4}$だけ遅れている

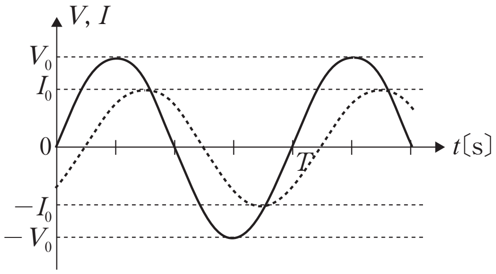
〔19〕 $\omega t-\dfrac{3\pi}{4}$　〔20〕 $\omega t-\dfrac{\pi}{2}$　〔21〕 $\omega t-\dfrac{\pi}{4}$　〔22〕 $\omega t+\dfrac{\pi}{4}$

〔23〕 $\omega t+\dfrac{\pi}{2}$　〔24〕 $\omega t+\dfrac{3\pi}{4}$

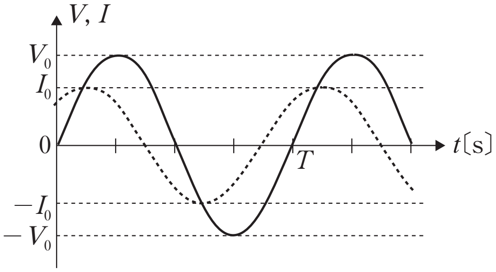
〔25〕



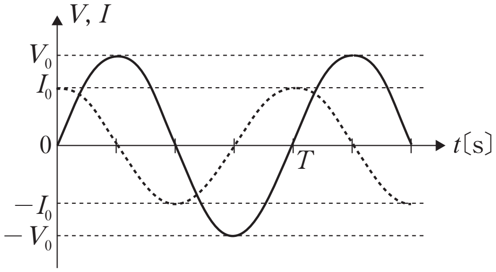
〔26〕



〔27〕



〔28〕



©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 47 講　総合演習 6

1

図 1 のように透磁率 μ [N/A^2＝H/m＝Wb/(A·m)] の丸棒に全巻き数 N_1 のコイル 1 および全巻き数 N_2 のコイル 2 が巻きつけてある。丸棒および 2 つのコイルの断面積は S [m^2] であり，コイルの長さはともに l [m] である。以下の問に答えよ。ただし，丸棒の内部では磁束は一様であるとし，コイルの直流抵抗は無視できるものとする。

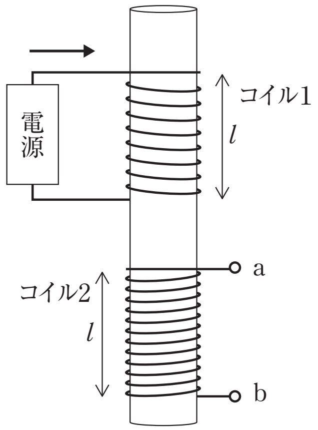


図 1

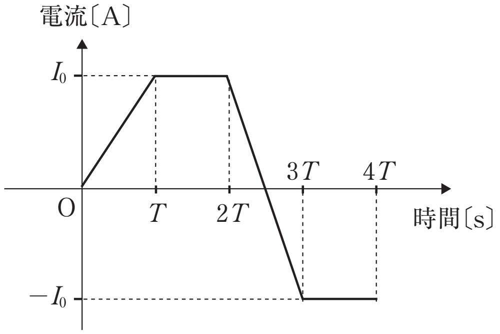


図 2

(1)　コイル 1 に図 1 の矢印の向きに大きさ I [A] の電流を流したときに，コイル 2 の 1 巻きを貫く磁束の大きさを求めよ。

(2)　時刻 0 から $4T$ [s] の間にコイル 1 の電流を図 2 のように変化させるとき，コイル 2 の両端に発生する起電力をグラフに描け。縦軸の 1 目盛の大きさは自由に設定してよく，それをグラフに示す必要はないが，解答欄にはこの起電力の最大値と最小値の式を記入すること。ただし，コイル 1 に流れる電流の向きは図 1 の矢印の向きを正とし，コイル 2 に生じる起電力は図 1 の a 側が b 側より高電位のときを正とする。

(3)　コイル 1 とコイル 2 の自己インダクタンスをそれぞれ求めよ。また，これらのコイル間の相互インダクタンスを求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

次に，図3のようにコイル1には抵抗値 R_1 [Ω] の抵抗 $\mathrm{R_1}$ とスイッチ $\mathrm{SW_1}$ をつなぎ，コイル2には抵抗値 R_2 [Ω] の抵抗 $\mathrm{R_2}$，内部抵抗を無視できる起電力 E [V] の電池，電気容量 C [F] のコンデンサー，およびスイッチ $\mathrm{SW_2}$ をつなぐ。はじめは $\mathrm{SW_1}$ および $\mathrm{SW_2}$ を開いておく。

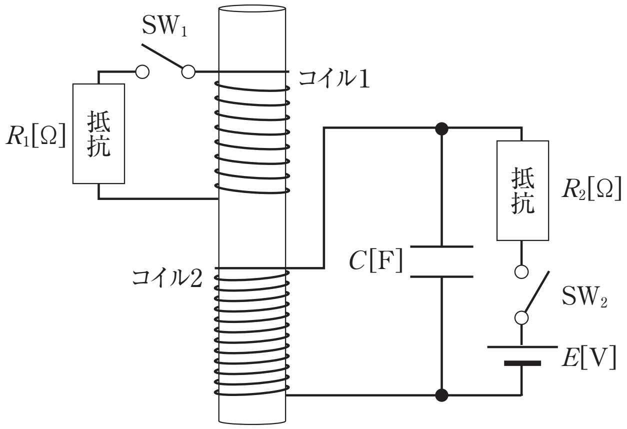


図3

(4)　コイル2に電流が流れておらず，コンデンサーに電荷が蓄えられていない状態で，$\mathrm{SW_2}$ を閉じた。この瞬間にコイル2に流れる電流の大きさとコンデンサーに流れる電流の大きさをそれぞれ求めよ。

(5)　$\mathrm{SW_2}$ を閉じてからじゅうぶん時間がたったときに，コイル2に蓄えられているエネルギーを求めよ。

(6)　その後，$\mathrm{SW_2}$ を開いた。この状態でじゅうぶん長い時間が経過する間での，コンデンサーに蓄えられる電気量の最大値を求めよ。

(7)　最後に，$\mathrm{SW_1}$ を閉じた。この後，抵抗 $\mathrm{R_1}$ で発生するジュール熱の総量を求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

図のように，傾斜 θ の斜面上に導体でできた２本のレールを距離 l を隔てて平行に固定する。レールの上端には抵抗値 R の抵抗がつけてある。この空間には磁束密度 B の磁場が鉛直上向きにかけてある。

このレールの上に質量 m の導体棒を静かに置くと，棒はレール上を摩擦なく，レールと垂直のまま斜面下方へ滑り出した。以下の［　］をうめる数値，数式を答えよ。

なお，重力加速度の大きさを g とし，抵抗器以外の抵抗は無視してよい。

(1)　棒が動きだし，ある速さ u で斜面上をすべり降りているとき，棒に生じる誘導起電力の大きさは［(1)］である。しばらくすると，棒はある一定の速さとなった。このとき，棒に流れる電流は［(2)］であり，抵抗で単位時間当たりに発生するジュール熱は［(3)］である。

(2)　次に，抵抗を外し，代わりに自己インダクタンス L のコイルをつなげて同じ実験をする。なお，棒を放した位置を原点として，斜面下向きに x 軸をとる。また，微小な時間変化を Δt とする。

棒が斜面を速さ v で運動しているとき，コイルを流れる電流を図の矢印の向きを正として I とすると，キルヒホッフの第２法則から

$$L\frac{\Delta I}{\Delta t} = \boxed{(4)} \qquad \cdots\cdots①$$

が成り立つ。また，棒の斜面方向について運動方程式は

$$m\frac{\Delta v}{\Delta t} = \boxed{(5)} \qquad \cdots\cdots②$$

となる。ただし，加速度を $\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ と書いた。

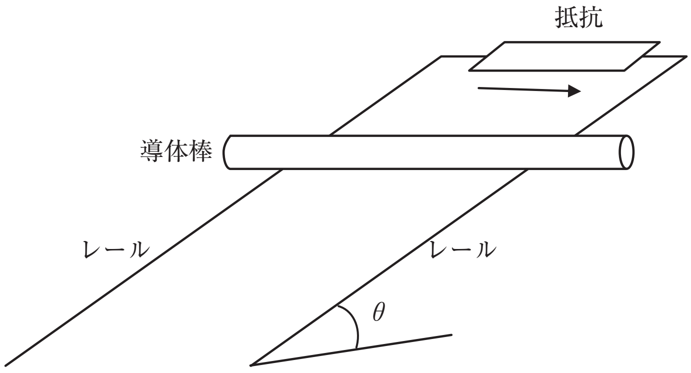
$v = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ と書けることと①から，Δx と ΔI の関係式［(6)］を得る。これと，棒が $t=0$ で $x=0$ にあったことから，x と I の関係式

$$I = \boxed{(7)} \times x \qquad \cdots\cdots③$$

が得られる。

②と③より，棒は中心が $x=$［(8)］，周期が［(9)］の単振動をすることが分かる。また，棒の速さの最大値は［(10)］である。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。



＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 47 講　確認テスト

図１のように空気中に，絶縁被覆した導線を一様に巻いた断面積 S，長さ l，単位長さあたりの巻数 n_1 のソレノイドコイル１があり，その上から単位長さあたりの巻数 n_2 のソレノイドコイル２を，コイル１と同じ長さ l になるように巻き付けた。ただし，$n_1 > n_2$ とし，コイル１の両端の端子を a_1，b_1，コイル２の両端の端子を a_2，b_2 とする。コイル１の自己インダクタンスを L_1，コイル２の自己インダクタンスを L_2，コイル１とコイル２の相互インダクタンスを M で表す。空気の透磁率を μ とし，コイル１およびコイル２の内部にできる磁界は一様であるとして，下の問（問１～問５）に答えよ。〔解答番号［１］～［７］〕

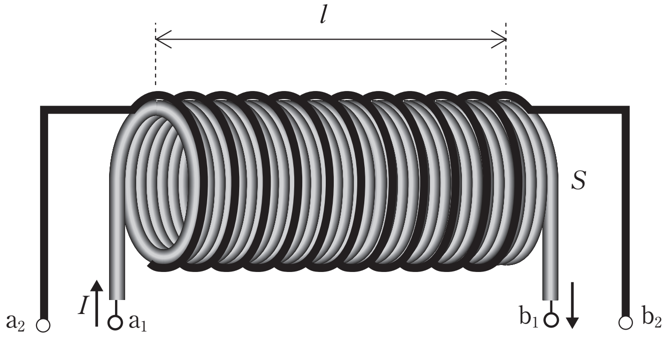


図１

問１　コイル１に電流 I を流すとき（図１），コイル１の内部の磁束密度はどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。［１］

①　$\mu n_1 I$　　②　$\mu n_1 l I$　　③　$\mu \frac{n_1}{S} I$　　④　$\mu \frac{n_1}{l} I$　　⑤　$n_1 I$

⑥　$n_1 l I$　　⑦　$\frac{n_1}{S} I$　　⑧　$\frac{n_1}{l} I$

問２　コイル１に図１の矢印の向きに流す電流 I を時間 Δt の間に ΔI だけ増加させるとき，コイル２の端子 b_2 に対する端子 a_2 の電位は，コイル１とコイル２の相互インダクタンス M を用いてどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。［２］

①　$MI\Delta I$　　②　$-MI\Delta I$　　③　$\frac{M}{2}\Delta I\Delta t$　　④　$-\frac{M}{2}\Delta I\Delta t$

⑤　$M\frac{\Delta I}{\Delta t}$　　⑥　$-M\frac{\Delta I}{\Delta t}$　　⑦　$\frac{M}{2}\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)^2$　　⑧　$-\frac{M}{2}\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)^2$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問３　コイル１を流れる電流が変化すると問１の磁束密度が変化して，コイル２に誘導起電力が生じる。この誘導起電力を問２の結果と比較してコイル１とコイル２の相互インダクタンス M を求めると，M はいくらか。また，同様にしてコイル１の自己インダクタンス L_1 を求めると，L_1 はいくらか。正しいものを，下の①～⑧のうちから一つずつ選べ。

$M=$ [3]　　$L_1=$ [4]

① $\mu n_1 S$　② $\mu n_1{}^2 S$　③ $\mu n_1{}^2 l S$　④ $\mu \dfrac{n_1{}^2}{l} S$

⑤ $\mu n_2 S$　⑥ $\mu n_1 n_2 S$　⑦ $\mu n_1 n_2 l S$　⑧ $\mu \dfrac{n_1 n_2}{l} S$

問４　コイル２の両端の端子 a_2，b_2 が図１のようにどこにもつながっていない場合には，問２のように電流を増加させるときに外部からする仕事が，コイル１のエネルギーとして蓄えられる。いま，図２のように，コイル１の端子 b_1 をコイル２の端子 a_2 と導線でつないでからコイル１，２に電流 I を流すと，二つのコイルに蓄えられるエネルギーの合計はいくらか。また，図３のように，コイル１の端子 b_1 をコイル２の端子 b_2 と導線でつないでからコイル１，２に電流 I を流すと，二つのコイルに蓄えられるエネルギーの合計はいくらか。正しいものを，下の①～⑨のうちから一つずつ選べ。

図２の二つのコイルに蓄えられるエネルギーの合計は [5]

図３の二つのコイルに蓄えられるエネルギーの合計は [6]

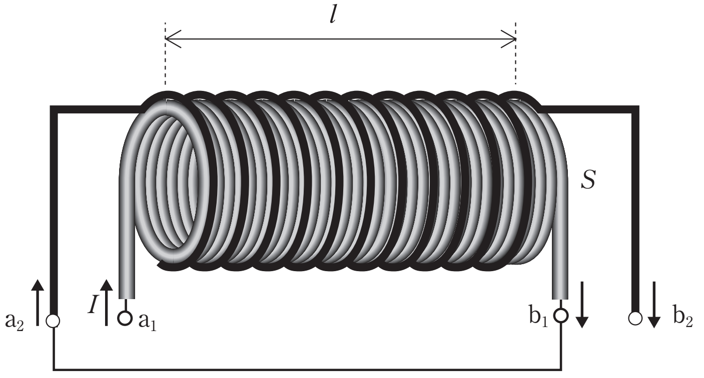


図２

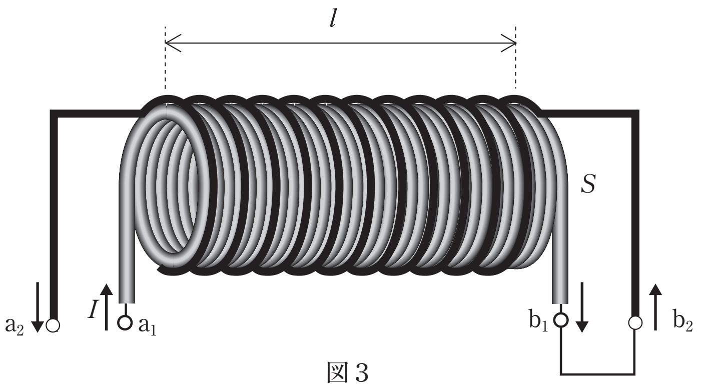


図３

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

① $\frac{1}{2}MI^2$　② $\frac{1}{2}(L_1-L_2)I^2$　③ $\frac{1}{2}(L_1+L_2)I^2$

④ $\frac{1}{2}(L_1-L_2+M)I^2$　⑤ $\frac{1}{2}(L_1+L_2-M)I^2$　⑥ $\frac{1}{2}(L_1+L_2+M)I^2$

⑦ $\frac{1}{2}(L_1-L_2+2M)I^2$　⑧ $\frac{1}{2}(L_1+L_2-2M)I^2$　⑨ $\frac{1}{2}(L_1+L_2+2M)I^2$

問5　図3の場合のコイル1の内部の磁束密度の大きさは，問1の磁束密度の大きさの何倍か。正しいものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ。 7 倍

① $\frac{n_2}{n_1}$　② $\frac{n_1-n_2}{n_1}$　③ $\frac{n_1+n_2}{n_1}$　④ n_2l

⑤ $\frac{{n_2}^2}{n_1}l$　⑥ $\frac{{n_1}^2-{n_2}^2}{n_1}l$　⑦ $\frac{{n_1}^2+{n_2}^2}{n_1}l$　⑧ $\frac{(n_1-n_2)^2}{n_1}l$

⑨ $\frac{(n_1+n_2)^2}{n_1}l$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第48講　総まとめ演習

1

図1のように，固定した台Aの上に台Bをおき，さらに台Bをばね定数がkで質量の無視できるばねで台Aに接続した。台Bは台Aの上を水平方向に移動できる。ばねの長さは十分長く，台Aと台Bの間の摩擦は無視できる。台Aと台Bの左側は水平面からの角度θの斜面となっている。台Aの斜面上端を原点Oとして，図1のようにx軸およびy軸をとる。台Bの水平方向の位置は，台Bの斜面下端のx座標で測ることにする。台Aの斜面と台Bの斜面が段差なくつながっている状態で$x=0$となる。このとき，ばねの長さは自然長となっている。

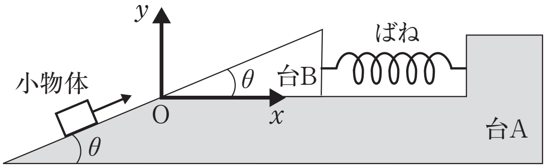


図1

質量mの小物体を台Aの斜面下方から斜面にそって打ち上げる実験をする。台Aと台Bの斜面は十分なめらかであり，小物体に摩擦力は働かない。台Bの斜面は十分長く，小物体が斜面から飛び出すことはない。小物体の速さは，原点Oを通過する瞬間にv_0であった。台Bの質量をM，重力加速度の大きさをgとする。以下の問に答えよ。

Ⅰ.

まず，台Bを$x=0$の位置に固定した状態で実験を行った。

(1)　小物体は台Bの斜面上を上方へすべりながらしだいに遅くなり，やがて最高点に達した後，斜面をすべり降り始めた。小物体が最高点に達したときの小物体のy座標を，v_0, m，M，g，θのうち必要なものを用いて表せ。

Ⅱ.

次に，台Bの固定をはずして$x=0$の位置に静止させた状態から再び実験を行った。小物体は台Bの斜面に乗り移った後，台Bの斜面から離れずに運動を続けた。また，小物体が台Bの斜面にあるときには，台Bは水平方向に運動した。このときの台Bのx軸正の向きの加速度をaとする。

(2)　小物体が台Bの斜面を運動しているときの様子を台Bの上にいる観測者からみると，小物体は慣性力と重力と垂直抗力を受けて運動している。小物体は斜面から離れないので，小物体に働く力の斜面に垂直な方向の成分はつり合っている。小物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさを，a，m，M，g，θのうち必要なものを用いて表せ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)　小物体が台Bの斜面を運動しているときの，台Aの上にいる観測者から見た台Bの運動方程式を考える。すると，台Bの加速度 a は台Bの位置 x によってきまり，$a=a_0-b_0x$ の形に整理できる。a_0 および b_0 を，m，M，g，θ，k のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

このように，台Bの加速度は単振動の加速度を表す式と同じ形をしている。したがって，小物体が台Bの斜面にあるとき，台Bはつり合いの位置を中心として水平方向に単振動を行うであろう。

(4)　この単振動の振幅を，a_0，b_0，m，M のうち必要なものを用いて表せ。

(5)　この単振動の角振動数 ω を，a_0，b_0，m，M のうち必要なものを用いて表せ。

Ⅲ.

v_0 を変化させて実験を繰り返した。v_0 がある値のとき，小物体が台Bの斜面下端に戻った瞬間に台Bが原点Oに戻ったため，小物体がそのままなめらかに台Aの斜面へ移ってすべり続ける様子が観察された。この現象に関して考察しよう。

小物体は台Bの斜面をなめらかにすべるので，小物体と台Bの間には垂直抗力しか働かない。これを考慮して，図2のように小物体の運動を点Oを原点にとった斜面方向（x' 軸方向）と斜面に垂直な方向（y' 軸方向）に分解して考える。このとき台Bは単振動をしているので，小物体の y' 軸方向の運動も単振動となる。

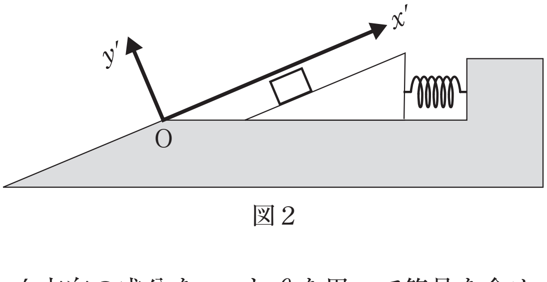


図2

(6)　小物体の加速度の x' 方向の成分を，g と θ を用いて符号を含めて表せ。

(7)　小物体は台B上で x' 方向に対する等加速度運動をする。x' 方向の運動を考察することにより，小物体が最初に $x'=0$ の点を通過してから再び $x'=0$ の点に戻ってくるまでの時間を，g，v_0，m，θ のうち必要なものを用いて表せ。なお，この運動の途中で小物体が台Aに衝突する可能性については考える必要はない。

(8)　小物体が $x'=0$ の点に戻ったときに台Bも原点Oに戻っていれば，小物体はそのままなめらかに台Aの斜面へ移ってすべり続けることができる。この条件を満たす v_0 を V として，V を，g，ω，θ，n のうち必要なものを用いて表せ。ただし，n は自然数とする。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

次の文を読んで，［　　］に適した式を，それぞれの解答欄に記せよ。

図１に示すように，水平面上に間隔 l で互いに平行に配置された２本の導体レールの上に，これらと直角に質量 m の導体棒 MN がおかれており，それがばね定数 k の不導体のばねにつながれている。導体棒 MN は，レールと平行にその上を左右に摩擦なく動けるものとする。また，導体棒 MN の動く範囲には，紙面に垂直に一様な磁束密度 B の静磁場が，紙面の裏から表の向きに常に作用している。なお，図１に示したように x 座標をとり，導体棒 MN が $x=0$ の位置にあるとき，ばねは自然の長さであるとする。

ここで，レールの右端 P と Q の間に，図２に示すようないろいろな素子をつないで１つのループ回路 PMNQ を構成したときに，導体棒 MN がどのような運動をするかについて考える。ただし，レールと導体棒 MN およびその接触点の電気抵抗，ならびに２本のレール間の静電容量は無視できるものとし，また，ループ回路に流れる電流の作る磁場は，静磁場 B や，P と Q の間につないだ素子に影響を与えないものとする。

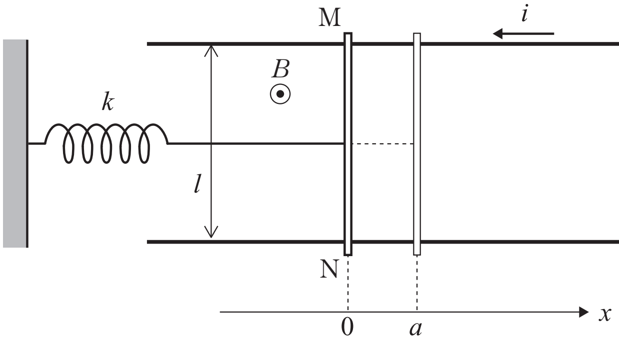


図１

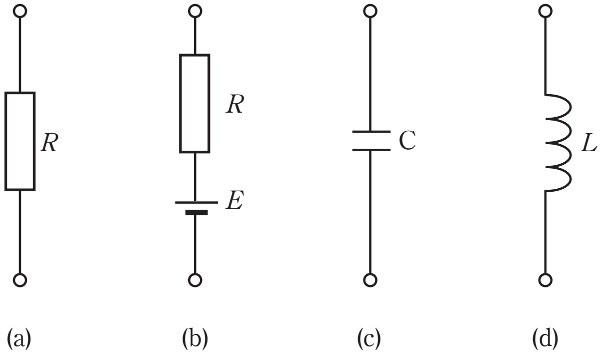


図２

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(1)　いま，ばねを引き伸ばして，導体棒MNを$x=a$の位置までゆっくりと動かし，静かに放す。P，Q間を開放したままのときには，導体棒MNは角振動数$\omega_0=$［ア］の単振動をする。導体棒MNを放した時点を，時刻$t=0$とすると，P，Q間に生ずる誘導起電力の大きさは，tの関数として，［イ］と表せる。

(2)　P，Q間に，図2の(a)に示した電気抵抗Rの抵抗をつないだ状態で，導体棒MNを$x=a$の位置までゆっくりと動かし，静かに放した。すると，導体棒MNは，P，Q間を開放していたときと同じような振動をしながら，少しずつその振幅が小さくなり，十分な時間が経過したのち，$x=0$の位置に静止した。導体棒MNを放してから静止するまでの間に，電気抵抗Rで消費されたエネルギーは［ウ］である。この後，P，Q間に，(a)にかえて，(b)に示した電気抵抗Rの抵抗と起電力Eの電池からなる素子を図の向きにつなぐと，導体棒MNは，また振動をはじめ，少しずつその振幅が小さくなって，十分な時間が経過したのちには，$x=$［エ］の位置に静止した。静止した後，電気抵抗Rで単位時間に消費されるエネルギーは［オ］である。

(3)　はじめにもどって，P，Q間を開放した状態で，導体棒MNを$x=a$の位置までゆっくりと動かし，P，Q間に，図2の(c)に示した静電容量Cのコンデンサーをつないで，導体棒MNを静かに放すと，角振動数ω_1で単振動した。導体棒MNを放した時点を$t=0$とすると，コンデンサーに蓄えられる電荷の量は，tの関数として，［カ］と表せる（ただし，図1においてコンデンサーの上側の電極に正電荷がたまる場合を正とする）。導体棒MNが$x=0$を通過する瞬間にコンデンサーに蓄えられているエネルギー［キ］と，そのときの運動エネルギーの和は，$t=0$の時点に与えた全エネルギーに等しいので，結局，この単振動の角振動数は，$\omega_1=$［ク］であることがわかる。

(4)　今度は，P，Q間に，図2の(d)に示した自己インダクタンスLのコイルをつないだ回路において，導体棒MNが，$x=0$を中心とした角振動数ω_2，振幅aの単振動をしているとする。$x=0$を右に通過するある時点を$t=0$と定め，そのとき回路を流れる電流はゼロであったとする。回路に流れる電流は，tの関数として，［ケ］と表せる（ただし，図1のiの向きを正とする）。$x=a$位置においてコイルに蓄えられているエネルギー［コ］と，そのときにばねに蓄えられているエネルギーの和は，$t=0$の時点の全エネルギーと等しいので，結局，この単振動の角振動数は，$\omega_2=$［サ］であることがわかる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第48講　確認テスト

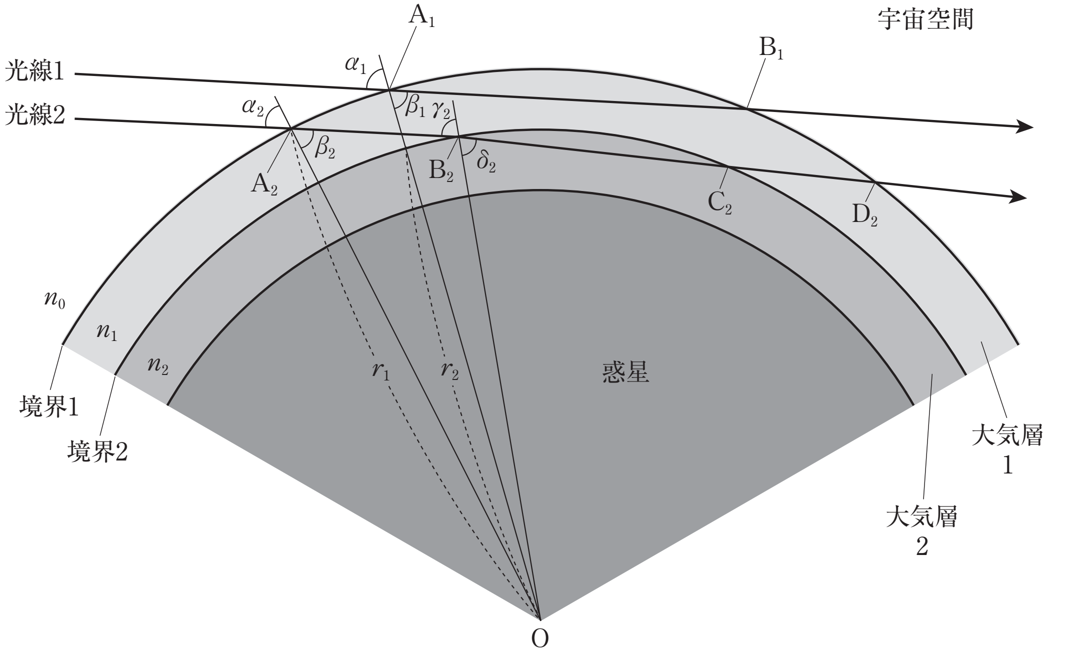
次の文を読み，下記の設問1・2に答えよ。

惑星の大気をかすめる光について考える。図に示すように，惑星を覆う大気を2層の大気層で近似する。大気層1と宇宙空間の境界（境界1）および大気層1と大気層2の境界（境界2）はそれぞれ中心をOとする半径r_1，r_2の同心球殻であるとする。宇宙空間，大気層1，大気層2の屈折率をそれぞれn_0，n_1，n_2とする。n_0は真空の屈折率（$=1$）とし，n_1，n_2は未知であるとする。光線1が境界1と交わる点を点A_1，点B_1とする。屈折率と距離の積を［あ］と呼び，光は同じ波面の［あ］が一定となるように進むため，点A_1で光線1は屈折する。点A_1において光線1が入射角α_1で入射し，屈折角β_1で屈折して進むとき，屈折の法則から［イ］の関係が成り立つ。光線1は点B_1において境界1を内側から外側へ通過する際も点A_1と同様に屈折するので，光線1が大気を通過する前の進行方向と通過後の進行方向の成す角は$2(\alpha_1-\beta_1)$である。

次に，光線1よりも小さい入射角α_2で大気に入射する光線2は，点A_2において屈折角β_2で屈折し，境界2に達する。点B_2における光線2の入射角をγ_2，屈折角をδ_2とすると，［ロ］の関係が成り立つ。$n_1<n_2$の場合，光線2は図に示すような経路をたどり，点C_2，点D_2においても点B_2，点A_2と同様に屈折する。光線2が大気を通過する前の進行方向と通過後の進行方向の成す角は$2(\alpha_2-\beta_2+\gamma_2-\delta_2)$である。一方，$n_1>n_2$の場合は，$\gamma_2$が臨界角に等しいか，それよりも大きいとき，［い］が起こり，光線2は大気層2の中へ進めない。γ_2が臨界角に等しいとき，［ハ］の関係が成り立つ。

光線に含まれる赤い光と青い光を比べると，大気を構成する分子の種類によらず，一般に，青い光の方が大気中の分子によって［う］されやすいので，光線1よりも光線2の方が大気を通過後の光線に含まれる赤い光の割合が高い。また，［ニ］。太陽や恒星からの光は，いろいろな方向に振動する横波の集まりで，振動面の方向は一様である。しかし，太陽や恒星からの光が大気中に浮かんでいる雲によって反射された場合，反射光の振動面の方向が一様でなくなることがあり，このような光を［え］という。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。



1．文中の空所 あ ～ え それぞれにあてはまる語句をしるせ。

2．文中の空所 イ ～ ニ にあてはまる数式または文を，それぞれ対応する a ～ f から1つずつ選び，その記号をマークせよ。

イ

a．$n_1 \sin\alpha_1 = n_0 \sin\beta_1$　　b．$n_0 n_1 \sin\alpha_1 \sin\beta_1 = 1$　　c．$n_0 \sin\alpha_1 = n_1 \sin\beta_1$

d．$n_0 \sin\alpha_1 = -n_1 \sin\beta_1$　　e．$n_1 \sin\alpha_1 = -n_0 \sin\beta_1$　　f．$\sin\alpha_1 \sin\beta_1 = -n_0 n_1$

ロ

a．$r_2 n_0 \sin\alpha_2 = r_1 n_1 \sin\gamma_2$　　b．$n_0 n_1 \sin\alpha_2 \sin\gamma_2 = \dfrac{r_1}{r_2}$

c．$r_2 n_0 \sin\alpha_2 = -r_1 n_1 \sin\gamma_2$　　d．$r_1 n_0 \sin\alpha_2 = -r_2 n_1 \sin\gamma_2$

e．$r_1 n_0 \sin\alpha_2 = r_2 n_1 \sin\gamma_2$　　f．$r_1 \sin\alpha_2 \sin\gamma_2 = -r_2 n_0 n_1$

ハ

a．$\sin\alpha_2 = \dfrac{r_2 n_2}{r_1 n_0}$　　b．$\sin\alpha_2 = \dfrac{r_1}{r_2 n_0 n_2}$

c．$\sin\alpha_2 = -\dfrac{r_1 n_2}{r_2 n_0}$　　d．$\sin\alpha_2 = \dfrac{r_1 n_2}{r_2 n_0}$

e．$\sin\alpha_2 = -\dfrac{r_2 n_2}{r_1 n_0}$　　f．$\sin\alpha_2 = -\dfrac{r_2 n_0 n_2}{r_1}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

二

a．赤い光の方が青い光よりも空気の屈折率が大きいので，光線が大気を通過する際により大きく曲がる

b．赤い光の方が青い光よりも空気の屈折率が小さいので，光線が大気を通過する際により大きく曲がる

c．赤い光と青い光の屈折率は同じなので，光線が大気を通過する際に曲がる角度は等しい

d．赤い光の方が青い光よりも空気の屈折率が大きいので，光線が大気を通過する際により小さく曲がる

e．赤い光の方が青い光よりも空気の屈折率が小さいので，光線が大気を通過する際により小さく曲がる

f．屈折率は光の波長と関係ないので，赤い光と青い光のどちらの光線が大気を通過する際により大きく曲がるか一概には言えない

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

テキスト解答

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第26講　解答

1

(1)　4.2×10^2 [J/K]

(2)　2.0×10^2 [g]

(3)　2.1×10^2 [J/K]

(4)　1.0 [J/g･K]

2

ア：$m_1c_1(T_3-T_1)$　イ：$m_2c_2(T_3-T_2)$　ウ：$C(T_3-T_2)$

エ：$\Delta Q_1+\Delta Q_2+\Delta Q_3=0$　オ：$\dfrac{m_1c_1T_1+m_2c_2T_2+CT_2}{m_1c_1+m_2c_2+C}$

カ：$m_1c_1+m_2c_2+C$　キ：Mc_2　ク：$-ML$

ケ：$m_1c_1+m_2c_2+C+Mc_2$

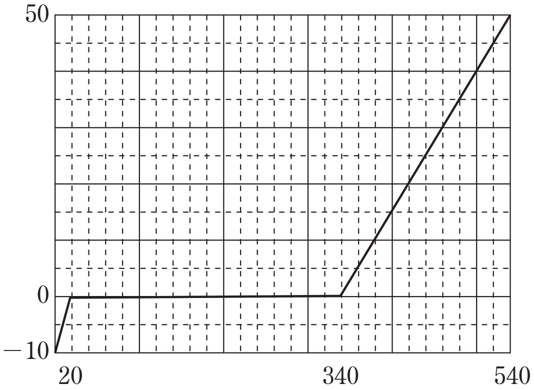
3

(1)　210 [J/s]

(2)　336 [J/g]

(3)　右図

(4)　800 [s]



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 27 講　解答

1

1　v_x　　2　$-v_y$　　3　v_z　　4　$2mv_y$　　5　$\dfrac{2L}{v_y}$

6　$\dfrac{m{v_y}^2}{L}$　　7　$\dfrac{Nm\overline{{v_y}^2}}{L}$　　8　$\dfrac{Nm\overline{{v_y}^2}}{V}$　　9　$\dfrac{1}{3}\overline{v^2}$

10　$\dfrac{1}{3}m\overline{v^2}N$　　11　$\dfrac{N}{N_A}RT$　　12　$\dfrac{3}{2}\dfrac{R}{N_A}T$

2

(1)　(f)　　(2)　(f)　　(3)　(a)　　(4)　(b)　　(5)　(c)　　(6)　(g)　　(7)　(d)

3

問１　(1)　２倍　　(2)　$\dfrac{3}{16}PV$　　(3)　$\dfrac{1}{2}P$

問２　(4)　$\dfrac{5}{6}T$　　(5)　$\dfrac{5}{6}P$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 28 講　解答

1

(1)　0　　(2)　$nC_V(T_2-T_1)$　　(3)　$nC_V(T_2-T_1)$

(4)　$nR(T_2-T_1)$　　(5)　$nC_P(T_2-T_1)$　　(6)　$n(C_P-R)(T_2-T_1)$

(7)　$C_P=C_V+R$

2

1　b　　2　d　　3　c　　4　k　　5　b　　6　o

3

問１　４倍　　問２　$\frac{1}{2}$倍　　問３　$\frac{3P_0V_0}{8T_0}(T_2-4T_0)$

問４　$\frac{3P_0V_0}{2T_0}(T_1-T_0)$　　問５　$\frac{3P_0V_0}{8T_0}(T_2+4T_1-8T_0)$　　問６　$\frac{P_0}{8T_0}(4T_1+T_2)$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第29講　解答

1

ア　③　　イ　③　　ウ　②　　エ　⑤　　オ　②　　カ　⑤

2

(1)　$T_A = \dfrac{P_0 V_0}{nR}$　　$T_B = \dfrac{3P_0 V_0}{nR}$

(2)　$3P_0 V_0$

(3)　$1.62P_0 V_0$

(4)　$-0.92P_0 V_0$

(5)　23％

3

(ア)	1	(イ)	4	(ウ)	0	(エ)	4	(オ)	5
(カ)	0	(キ)	1	(ク)	2	(ケ)	6	(コ)	8

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 30 講　解答

1

⑺　⑨　　⑷　⑤　　⑼　③　　⑴　⑤　　⑶　②

⑸　④　　⑵　①　　⑺　⑦　　⑹　⑨

2

(1)　④　　(2)　②　　(3)　①　　(4)　⑦　　(5)　⑦

3

$$e=1-\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第31講　解答

1

問1　(1)　$\dfrac{nR}{p}T$　　(2)　$p\Delta V$　$[nR\Delta T]$

(3)　$\dfrac{3}{2}nR\Delta T$　$\left[\dfrac{3}{2}p\Delta V\right]$

(4)　$\dfrac{3}{2}nR\Delta T+p\Delta V$　$\left[\dfrac{5}{2}nR\Delta T,\ \dfrac{5}{2}p\Delta V\right]$

(5)　$\dfrac{5}{2}R$

問2　(6)　$(m+nM)g$　　(7)　$\dfrac{pV_B}{RT}$

(8)　$\dfrac{pV_B}{RT}M_Ag$　　(9)　$\dfrac{RT}{p}\dfrac{m+nM}{M_A}$

(10)　$\dfrac{5}{2}nR\left(\dfrac{m+nM}{nM_A}-1\right)$　　(11)　3.6×10^2

2

(1)　$\dfrac{\gamma}{1-\gamma}$　　(2)　$125b$ [kPa]

(3)　過程Ⅰ：0 [J],　　過程Ⅱ：$100c$ [J],　　過程Ⅲ：0 [J],

過程Ⅳ：$-a\left(400-\dfrac{480}{b}\right)$ [J]

(4)　熱量：$(c+a)\left(400-\dfrac{480}{b}\right)$ [J],　　温度変化 T_1-T_4：$400-\dfrac{480}{b}$ [K],

定圧モル比熱：$c+a$ [J/mol·K]

3

(1)　$P_1=\dfrac{kL}{3S}$,　$T_1=\dfrac{4}{9}\cdot\dfrac{kL^2}{R}$　　(2)　$\dfrac{1}{2}T_1$　　(3)　$\dfrac{7}{8}T_1$　　(4)　$\dfrac{1}{16}T_1$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第32講　解答

1

①　原子核	②　電子	③　静電気	④　小さい
⑤　自由電子	⑥静電気	⑦　開く	⑧　閉じる
⑨　開く	⑩　負	⑪　さらに開く	⑫正

2

(1)　$\sqrt{\dfrac{2\sqrt{3}\,kq^2}{mg}}$

(2)　$\dfrac{\sqrt{3}\,mg}{3q}$

3

(1)　a：電気力線　　b：強い　　c：等電位線

(2)　1　qEd　　2　2.4×10^{-7}　　3　0　　4　-1.8×10^{-7}

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 33 講　解答

1

（1）　③　　　（2）　⑥

2

問１　(あ)　$\dfrac{kQ}{\sqrt{x^2+L^2}}$　　(い)　$\dfrac{kQ}{x^2+L^2}$　　(う)　$\dfrac{2kQ}{\sqrt{x^2+L^2}}$　　(え)　$\dfrac{2kQx}{(x^2+L^2)^{\frac{3}{2}}}$

(お)　0

問２　(か)　$-\dfrac{2kqQ}{\sqrt{x^2+L^2}}$　　(き)　$\dfrac{1}{2}mv_0{}^2-\dfrac{kqQ}{L}$

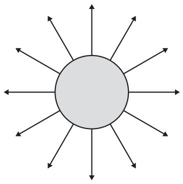
(く)　$\dfrac{1}{2}mv_0{}^2-\dfrac{kqQ}{L}=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{2kqQ}{\sqrt{x^2+L^2}}$　　(け)　$\sqrt{\dfrac{2kqQ}{mL}}$

問３　(こ)　$-\dfrac{2kqQ}{\sqrt{d^2+L^2}}=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{2kqQ}{\sqrt{x^2+L^2}}$

(さ)　0　　(し)　$\dfrac{2kqQ}{L^3}$　　(す)　$2\pi\sqrt{\dfrac{mL^3}{2kqQ}}$

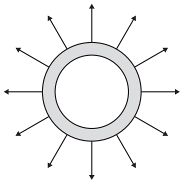
3

(A)　（1）



（2）　$\dfrac{16}{3}\pi^2\rho k_0R^3$　　（3）　$\dfrac{4\pi\rho k_0R^3}{3r^2}$

(B)　（1）



（2）　$r<R$ では 0　　$r>R$ では $\dfrac{4\pi\rho k_0(R'^3-R^3)}{3r^2}$

(C)　$\dfrac{4\pi\rho k_0R}{3}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第34講　解答

1

［A］

$$i_1=\frac{E}{3R}\qquad I_1=\frac{E}{3R}\qquad V_1=\frac{E}{3}\qquad P_1=\frac{E^2}{3R}$$

$$i_2=\frac{E}{2R}\qquad I_2=\frac{3E}{2R}\qquad V_2=\frac{E}{2}\qquad P_2=\frac{3E^2}{2R}$$

$$i_3=\frac{E}{R}\qquad I_3=\frac{3E}{R}\qquad V_3=E\qquad P_3=\frac{3E^2}{R}$$

［B］

(1)　5.0［mA］　(2)　8.0［V］　(3)　2.5×10［mA］

(4)　3.2×10^2［Ω］　(5)　2.5×10^{-1}［W］

2

(1)　$5+\dfrac{rR}{r+R}$［Ω］　(2)　$\dfrac{25(r+R)}{5(r+R)+rR}$［A］　(3)　$\dfrac{25R}{5(r+R)+rR}$［A］

(4)　15［Ω］　(5)　50［W］　(6)　4［Ω］

3

1　⑦　2　②　3　④　4　⑥　5　⑦

6　③（⑪でも可）　7　⑩　8　⑫

※6について：$W_E=F_1\cdot v=\dfrac{eV}{l}\cdot v=\dfrac{evV}{l}$　…選択肢③

$$W_E=F_1\cdot v=\frac{eV}{l}\cdot\frac{eV}{kl}=\frac{e^2V^2}{kl^2}$$　…選択肢⑪

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第35講　解答

1

問1　(1)　$C_0=\varepsilon_0\dfrac{S}{d}$ [F]　　(2)　$E_0=\dfrac{V}{d}$ [V/m]

問2　(1)　$C_1=\varepsilon_0\dfrac{3}{2d}S$ [F],　$C_2=\varepsilon_0\dfrac{3}{d}S$ [F]

(2)　$C=\varepsilon_0\dfrac{S}{d}$ [F]　　(3)　$E_1=\dfrac{V}{d}$ [V/m],　$E_2=\dfrac{V}{d}$ [V/m]

問3　(1)　$C_3=\varepsilon_0\dfrac{3\varepsilon_r}{2+\varepsilon_r}\dfrac{S}{d}$ [F]　　(2)　$E_3=\dfrac{3}{2+\varepsilon_r}\dfrac{V}{d}$ [V/m]

(3)　$E_4=\dfrac{3\varepsilon_r}{2+\varepsilon_r}\dfrac{V}{d}$ [V/m]

問4　$C_4=\varepsilon_0\dfrac{1+2\varepsilon_r}{2+\varepsilon_r}\dfrac{S}{d}$ [F]

2

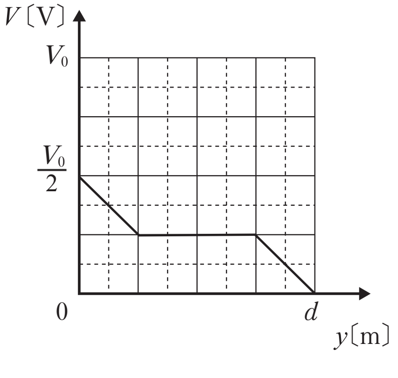
(1)　(ア)　$\dfrac{1}{\varepsilon_0 S}$　　(イ)　$\varepsilon_0\dfrac{S}{d}$　　(ウ)　Q_0　　(エ)　$\dfrac{1}{2}Q_0$

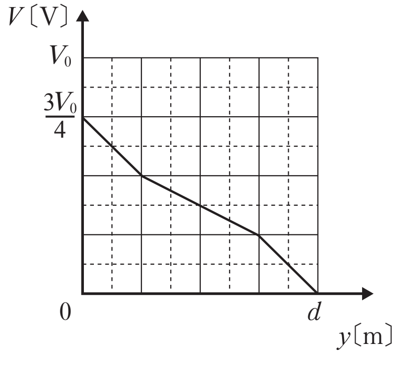
(オ)　ジュール熱 [抵抗における発熱]

(2)　(カ)　$\dfrac{{Q_0}^2}{2\varepsilon_0 S}$　　(キ)　$\dfrac{1}{2\varepsilon_0 S}$　　(ク)　$\dfrac{1}{2}$

(3)　(ケ)　2　　(コ)　$\dfrac{1}{2}$　　(サ)　(a)　グラフ1　次図（左）

(4)　(シ)　$\dfrac{2\varepsilon_r}{\varepsilon_r+1}$　　(ス)　$\dfrac{3}{4}$　　(セ)　(a)　グラフ2　次図（右）





©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 36 講　解答

1

問１

① $\dfrac{V_0}{R}$　② 0　③ 0　④ V_0　⑤ CV_0

⑥ $\dfrac{1}{2}CV_0^2$　⑦ CV_0^2　⑧ $\dfrac{1}{2}CV_0^2$

問２

⑨ $\dfrac{V_0}{R}$　⑩ $\dfrac{1}{3}CV_0$　⑪ $\dfrac{1}{18}CV_0^2$　⑫ $\dfrac{1}{3}CV_0^2$

2

1 ⑧　2 ④　3 ②　4 ④　5 ⑤

6 ⑦　7 ③　8 ⑦　9 ④

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 37 講　解答

1

(1)　0.5［A］

(2)　0.6［A］

(3)　24［W］

(4)　電流 0.2［A］　70［W］

2

問１

(1)　$\dfrac{eV}{L}$　(2)　$\dfrac{e}{kL}$　(3)　$nebc$　(4)　$\dfrac{ne^2bc}{kL}$　(5)　$\dfrac{k}{ne^2bc}$

問２

温度が上昇すると抵抗力の係数が大きくなり，それに比例する抵抗値も大きくなる。

問３

(1)　2.0×10［Ω］　(2)　1.8×10［Ω］　(3)　2.4×10^3［℃］

(4)　$I=\dfrac{E-V}{R_x}$　(5)　電圧 5.0×10［V］　電力 1.5×10［W］

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 38 講　解答

1

(1) 全エネルギー $\frac{1}{2}M_A V_0^2$　　全運動量 $M_A V_0$

(2) エネルギー保存則 $\frac{1}{2}M_A V_0^2 = \frac{1}{2}M_A V_A^2 + \frac{1}{2}M_B V_B^2 + \frac{kq^2}{r}$

運動量保存則 $M_A V_0 = M_A V_A + M_B V_B$

(3) $V_A' = V_B' = \frac{M_A}{M_A + M_B} V_0$

(4) $V_{\infty A} = \frac{M_A - M_B}{M_A + M_B} V_0$, $V_{\infty B} = \frac{2M_A}{M_A + M_B} V_0$

2

(ア) 0	(イ) $\frac{V}{R}$	(ウ) 0
(エ) CV	(オ) $\frac{1}{2}CV^2$	(カ) $\frac{1}{3}V$
(キ) $\frac{1}{3}CV$	(ク) $\frac{2}{3}CV$	(ケ) $\frac{1}{6}CV^2$
(コ) $\frac{1}{3}CV^2$	(サ) $\frac{2}{3}Q_{2(n-1)} + \frac{2}{3}CV$	(シ) $2CV$

3

1.	〔1〕 c）	〔2〕 d）	〔3〕 e）	〔4〕 p）
	〔5〕 e）	〔6〕 p）	〔7〕 h）	〔8〕 u）
	〔9〕 e）	〔10〕 v）	〔11〕 e）	〔12〕 u）
	〔13〕 a）	〔14〕 a）		
2.	〔15〕 k）	〔16〕 x）		

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第39講　解答

1

（1）x 成分：$v\sin\theta$，z 成分：$v\cos\theta$　（2）ローレンツ力　（3）$evB\sin\theta$

（4）$\dfrac{mv\sin\theta}{eB}$　（5）$\dfrac{2\pi m}{eB}$　（6）$\dfrac{2\pi mv\cos\theta}{eB}$　（7）$\sqrt{\dfrac{2eV}{m}}$

（8）$\dfrac{2V\sin^2\theta}{R^2B^2}$

2

問1

（1）x 軸方向　等速度運動，$f=0$，$a=0$

y 軸方向　等加速度運動，$f=\dfrac{eV}{d}$，$a=\dfrac{eV}{md}$

（2）x 軸方向　等速度運動，$f=0$，$v=v_0$

y 軸方向　等速度運動，$f=0$，$v=\dfrac{eV}{md}\cdot\dfrac{l}{v_0}$

（3）$a=\dfrac{eVl}{2mdv_0{}^2}(l+2L)$

問2

（1）磁場（磁界）の向きは紙面に対して，表から裏へ向かう。

〈参考〉

偏向板の間を通過する間，電子には上向きに電界からの力がかかる。よって電子を直線運動させるためには偏向板の間において，電子に下向きのローレンツ力がかからなければならない。そのために必要な磁界の向きはフレミングの左手の法則より，紙面に対して表から裏への向きとなる。なお，電子の電荷が負であることに注意。

（2）$v_0=\dfrac{V}{dB}$

問3　$\dfrac{e}{m}=\dfrac{2aV}{dB^2l(l+2L)}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第40講　解答

1

(1)〔３〕　(2)〔２〕　(3)〔１〕　(4)〔４〕　(5)〔２〕

(6)〔３〕　(7)〔５〕　(8)〔６〕　(9)〔１〕　(10)〔４〕

(11)〔４〕　(12)〔３〕　(13)〔４〕

2

(1)　P　$+z$ 方向　　Q　$-z$ 方向

(2)　$H=\dfrac{I_1}{2\pi}\left(\dfrac{1}{a-x}-\dfrac{1}{a+x}\right)$ [A/m]

(3)　$H=\dfrac{I_1}{\pi a^2}x$ [A/m]

(4)　B → A

(5)　$F=-\dfrac{\mu_0 I_1 I_2 l}{\pi a^2}x$ [N]

(6)　$T=2\pi\sqrt{\dfrac{\pi m a^2}{\mu_0 I_1 I_2 l}}$ [s]

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 41 講　解答

1

(1)　1.0×10^{-2} [Wb]

(2)　起電力の大きさ：15 [V]　　電流の大きさ：1.5 [A]

(3)　起電力の大きさ：2.0×10^{-3} [V]　　磁場から受ける力の大きさ：1.0×10^{-5} [N]

外力のする仕事率：4.0×10^{-7} [W]

2

ア：①　　イ：$\dfrac{E}{R}$　　ウ：④　　エ：$\dfrac{EBL}{R}$　　オ：⑥

カ：BLv　　キ：⑤　　ク：⑥　　ケ：$\dfrac{E}{BL}$　　コ：②

サ：$\dfrac{BLv}{R}$　　シ：③　　ス：$\dfrac{B^2L^2v}{R}$　　セ：0

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 42 講　解答

1

(1)　b → a

(2)　$\dfrac{BLv\cos\phi}{R}$

(3)　$\dfrac{mgR\sin\phi}{(BL\cos\phi)^2}$

(4)　1

2

(1)　右図

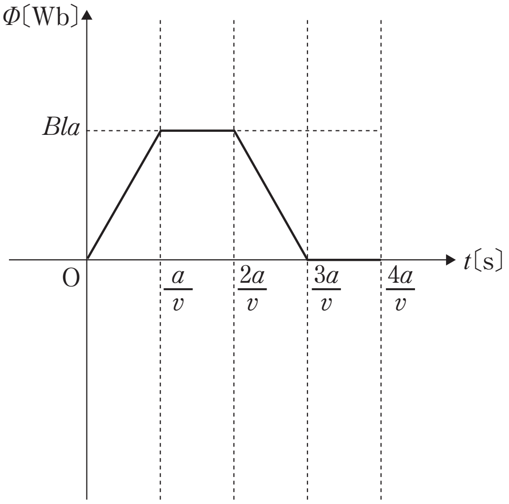
(2)　$-\dfrac{Blv}{R}$

(3)　右図下

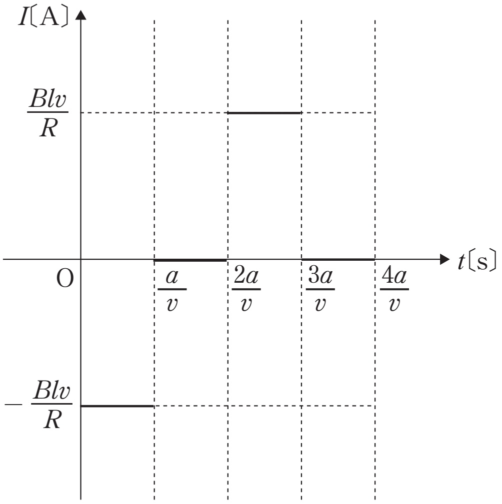
(4)　$\dfrac{2B^2l^2va}{R}$

(5)　$\dfrac{B^2l^2v}{R}$，x 軸正方向

(6)　$\dfrac{2B^2l^2va}{R}$



(1)の解答欄



(3)の解答欄

3

あ	$er\omega B$	い	O → P	う	$\dfrac{1}{2}a^2\omega$	え	$\dfrac{1}{2}Ba^2\omega$
お	イ	か	$\dfrac{Ba^2\omega}{2R}$	き	$\dfrac{B^2a^3\omega}{2R}$	く	$\dfrac{B^2a^4\omega^2}{4R}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 43 講　解答

1

(1) $\dfrac{V}{2R}$　　(2) 点 a の方が $\dfrac{1}{4}V$ だけ高電位　　(3) $\dfrac{V}{6R}$ だけ増える

(4) 点 b の方が $\dfrac{1}{3}V$ だけ電位が高い　　(5) $\dfrac{7}{72}L\left(\dfrac{V}{R}\right)^2$ だけ減る

2

(ア) $\mu_0\dfrac{N_1S_1}{l}\Delta I$　　(イ) $-\mu_0\dfrac{N_1S_1}{l}\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

(ウ) $-\mu_0\dfrac{N_1{}^2S_1}{l}\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$　　(エ) $\mu_0\dfrac{N_1{}^2S_1}{l}$

(オ) $\mu_0\dfrac{N_1S_2I}{l}$　　(カ) $-\mu_0\dfrac{N_1N_2S_2}{l}\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

(キ) $\mu_0\dfrac{N_1N_2S_2}{l}$　　(ク) $-\mu_0\dfrac{N_1N_2S_2}{l}\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 44 講　解答

1

(1)　$\dfrac{1}{2}CE^2$

(2)　$E\sqrt{\dfrac{C}{L}}$

(3)　I　(ア),　V　(エ)

(4)　$\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

(5)　I　(ウ),　V　(カ)

2

(1)　$\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$ [Hz]

(2)　$\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}$ [F]

(3)　$\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{C_1+C_2}{C_1C_2L}}$ [Hz]

(4)　4.0 [μF]

(5)　$\dfrac{C_1C_2+C_2C_3+C_3C_1}{C_1+C_2}$ [F]

(6)　9.0 [μF]

3

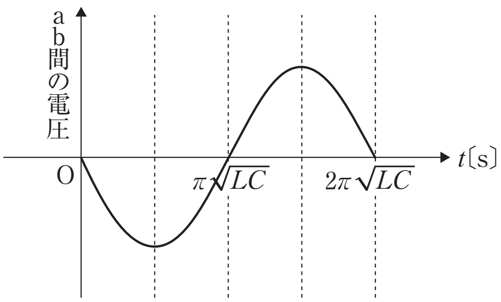
Ⅰ　電流 $\dfrac{E}{R_1}$　　エネルギー $\dfrac{1}{2}L\left(\dfrac{E}{R_1}\right)^2$

Ⅱ　(1)　0　　(2)　電流 $-\dfrac{E}{R_1}$，電圧 $-\dfrac{R_2}{R_1}E$，電力 $\left(\dfrac{E}{R_1}\right)^2R_2$

(3)　R_2 が大きい方が速い

(理由) R_2 が大きいほど，消費電力が大きい，すなわち，コイルにたくわえられていたエネルギーの減少が大きいから。

Ⅲ　(1)



(2)　$\dfrac{E}{R_1}\sqrt{LC}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 45 講　解答

1

(1)　Bab　(2)　ωt　(3)　$Bab\cos\omega t$　(4)　$Bab\cos\omega(t+\Delta t)$

(5)　$-\omega Bab\sin\omega t$　(6)　電磁誘導　(7)　(ア)

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 46 講　解答

1

ア　⑤　　イ　④　　ウ　③　　エ　④　　オ　①

カ　①　　キ　⑥　　ク　④　　ケ　④

2

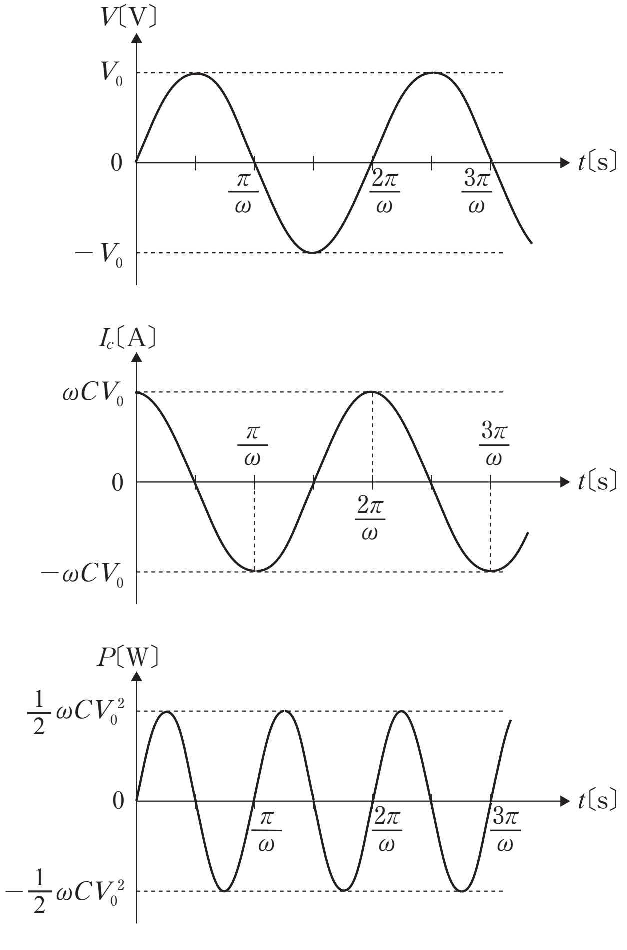
⑴　$\omega CV_0\cos\omega t$ [A]

⑵　$\dfrac{V_0}{\omega L}\sin\left(\omega t-\dfrac{\pi}{2}\right)$ [A]

⑶　$\dfrac{1}{2}\omega CV_0^2\sin 2\omega t$ [W]

⑷　右図

⑸　$\omega=\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ [rad/s]　　電圧 0 [V]



3

問１　$\dfrac{V_0^2}{R_1}$ [W]　　　問２　$\dfrac{1}{2}L\left(\dfrac{V_0}{R_1}\right)^2+\dfrac{1}{2}CV_0^2$ [J]

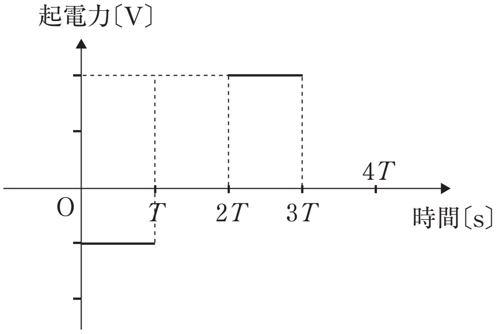
問３　⑴　$\dfrac{1}{2}I_0^2R_1$ [W]　　⑵　$\omega CR_1I_0\cos\omega t$ [A]　　⑶　$R_1I_0\{\sin\omega t+\omega CR_2\cos\omega t\}$ [V]

⑷　CR_1R_2 [H]

第47講　解答

1

(1) $\dfrac{\mu N_1 S}{l} I$ [Wb]　　(2) 最大値 $\dfrac{2\mu N_1 N_2 S}{l}\cdot\dfrac{I_0}{T}$ [V]　　最小値 $-\dfrac{\mu N_1 N_2 S}{l}\cdot\dfrac{I_0}{T}$ [V]



(3) コイル１の自己インダクタンス $\dfrac{\mu N_1^2 S}{l}$ [H]

コイル２の自己インダクタンス $\dfrac{\mu N_2^2 S}{l}$ [H]

相互インダクタンス $\dfrac{\mu N_1 N_2 S}{l}$ [H]

(4) コイル２：0 [A]　　コンデンサー $\dfrac{E}{R_2}$ [A]　　(5) $\dfrac{1}{2}\dfrac{\mu N_2^2 S}{l}\left(\dfrac{E}{R_2}\right)^2$ [J]

(6) $\sqrt{\dfrac{\mu SC}{l}}\dfrac{N_2 E}{R_2}$ [C]　　(7) $\dfrac{1}{2}\dfrac{\mu N_2^2 S}{l}\left(\dfrac{E}{R_2}\right)^2$ [J]

2

(1) $Blu\cos\theta$　　(2) $\dfrac{mg}{Bl}\tan\theta$　　(3) $\left(\dfrac{mg}{Bl}\tan\theta\right)^2 R$

(4) $Blv\cos\theta$　　(5) $mg\sin\theta - IBl\cos\theta$

(6) $Bl\cos\theta\cdot\Delta x = L\cdot\Delta I$　　(7) $\dfrac{Bl}{L}\cos\theta$

(8) $\dfrac{mgL\sin\theta}{B^2 l^2\cos^2\theta}$　　(9) $\dfrac{2\pi\sqrt{mL}}{Bl\cos\theta}$　　(10) $\dfrac{\sqrt{mL}\,g\tan\theta}{Bl}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第48講　解答

1

Ⅰ.

(1) $\dfrac{{v_0}^2}{2g}$

Ⅱ.

(2) $mg\cos\theta - ma\sin\theta$

(3) $a_0 = \dfrac{mg\cos\theta\sin\theta}{M+m\sin^2\theta}$,　$b_0 = \dfrac{k}{M+m\sin^2\theta}$

(4) $\dfrac{a_0}{b_0}$

(5) $\omega = \sqrt{b_0}$

Ⅲ.

(6) $-g\sin\theta$

(7) $\dfrac{2v_0}{g\sin\theta}$

(8) $V = \dfrac{\pi g\sin\theta}{\omega}n$

2

(ア) $\sqrt{\dfrac{k}{m}}$

(イ) $\omega_0 aBl|\sin\omega_0 t|$

(ウ) $\dfrac{1}{2}ka^2$

(エ) $-\dfrac{EBl}{kR}$

(オ) $\dfrac{E^2}{R}$

(カ) $C\omega_1 aBl\sin\omega_1 t$

(キ) $\dfrac{1}{2}C(\omega_1 aBl)^2$

(ク) $\sqrt{\dfrac{k}{m+CB^2l^2}}$

(ケ) $\dfrac{aBl}{L}\sin\omega_2 t$

(コ) $\dfrac{(aBl)^2}{2L}$

(サ) $\sqrt{\dfrac{k}{m}+\dfrac{B^2l^2}{mL}}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

確認テスト解答

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 26 講　確認テスト

【解答】

(1)　⑤　(2)　②　(3)　⑤　(4)　①　(5)　④

【解説】

問１

$$Q = 30 \times 4.2 \times (80-40) = \mathbf{5040}\ [\mathrm{J}]_{(1)}$$

問２

熱量保存則より，

$$\underbrace{(50 \times 4.2 + U)(40-20)}_{\text{低温の水と熱量計が得た熱量}} = \underbrace{5040}_{\text{高温の水が失った熱量}}$$

$$\therefore\quad U = \mathbf{42}\ [\mathrm{J/K}]_{(2)}$$

問３

$$\underbrace{U}_{\text{熱容量}} = \underbrace{C}_{\text{比熱}} \times \underbrace{110\ [\mathrm{g}]}_{\text{質量}} \qquad \therefore\quad C = \frac{42}{110} = \mathbf{0.38}\ [\mathrm{J/g \cdot K}]_{(3)}$$

問４

この時点では 50＋30＝80 [g] の水が入っている。さらに加える水の量を x [g] とすると，熱量保存則より

$$\underbrace{(80 \times 4.2 + 42)(50-40)}_{\text{元からある水と熱量計が得る熱量}} = \underbrace{x \times 4.2 \times (80-50)}_{\text{さらに加える水が失う熱量}}$$

$$\therefore\quad x = \mathbf{30}\ [\mathrm{g}]_{(4)}$$

問５

この時点で水は 80＋30＝110 [g] 入っている。熱量保存則より

$$\underbrace{(110 \times 4.2 + 42)(60-50)}_{\text{水と熱量計が得た熱量}} = \underbrace{C' \times 400 \times (100-60)}_{\text{金属球が失った熱量}}$$

$$\therefore\quad C' = 0.315 \fallingdotseq \mathbf{0.32}\ [\mathrm{J/g \cdot K}]_{(5)}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 27 講　確認テスト

【解答】

（1）ウ　（2）オ　（3）ア　（4）エ　（5）イ

（6）ウ　（7）ア　（8）ウ　（9）オ

【解説】

（1）$|m(-v_x)-mv_x|=\boldsymbol{2mv_x}$

（2）$\Delta t=\boldsymbol{\dfrac{2L}{v_x}}$

（3）$\dfrac{1}{\Delta t}=\boldsymbol{\dfrac{v_x}{2L}}$

（4）$\boldsymbol{\dfrac{v_x}{2L}\times t}$

（5）$2mv_x\times\dfrac{v_xt}{2L}=\boldsymbol{\dfrac{mv_x{}^2t}{L}}$

（6）$\boldsymbol{N\times\dfrac{m\overline{v_x{}^2}\,t}{L}}$

（7）$F=\dfrac{Nm\overline{v_x{}^2}\,t}{L}\div t=\boldsymbol{\dfrac{Nm\overline{v_x{}^2}}{L}}$

（8）$P=\dfrac{F}{L^2}=\dfrac{Nm\overline{v_x{}^2}}{L^3}=\boldsymbol{\dfrac{Nm\overline{v_x{}^2}}{V}}$

（9）$\overline{v_x{}^2}=\overline{v_y{}^2}=\overline{v_z{}^2}=\dfrac{1}{3}\overline{v^2}$ となるので，

$$P=\boldsymbol{\frac{Nm\overline{v^2}}{3V}}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 28 講　確認テスト

【解答】

(ア)　03　　(イ)　11　　(ウ)　08　　(エ)　10

【解説】

(ア)　はじめ，ピストンが高さ h にいたときの状態方程式は，

$$P_1(Sh)=RT \quad \text{——①}$$

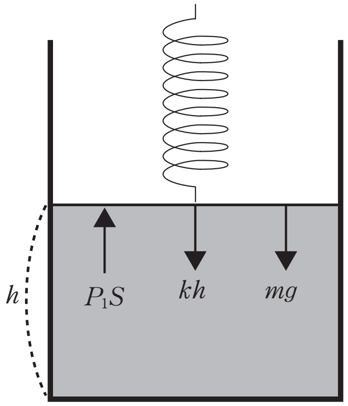
また，ピストンにかかる力のつりあいは

$$P_1S=kh+mg \quad \text{——②}$$

（ただし，このときの圧力を P_1 とする。）

②を①へ代入して，

$$T=\frac{P_1Sh}{R}=\boldsymbol{\frac{h}{R}(kh+mg)}_{\text{(ア)}}$$



状態1

(イ)　求める圧力を P_2 とすると，状態２での状態方程式は

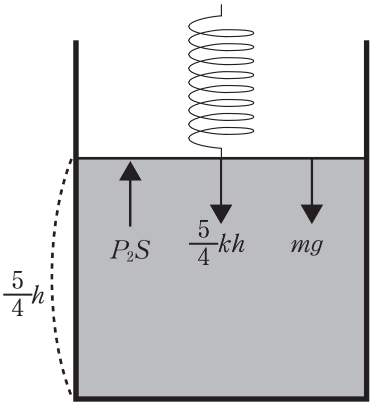
$$P_2\left(\frac{5}{4}Sh\right)=R(2T) \quad \text{——③}$$

また，ピストンにかかる力のつりあいは

$$P_2S=\frac{5}{4}kh+mg \quad \text{——④}$$

③ ÷ ①より，

$$P_2=\boldsymbol{\frac{8}{5}}P_{1\,\text{(イ)}}$$



状態2

(ウ)，(エ)　気体がした仕事は，

$$W=\underbrace{\left\{\frac{1}{2}k\left(\frac{5h}{4}\right)^2-\frac{1}{2}kh^2\right\}}_{\text{ばねを持ち上げた分}}+\underbrace{\left\{mg\left(\frac{5}{4}h\right)-mgh\right\}}_{\text{ピストンを持ち上げた分}}=\boldsymbol{\frac{9}{32}kh^2+\frac{1}{4}mgh}_{\text{(ウ)}}$$

また，内部エネルギーの変化は，(ア)の答えを用いて

$$\Delta U=\frac{3}{2}R(2T-T)=\frac{3}{2}RT=\frac{3}{2}h(kh+mg)$$

となるので，熱エネルギーは，熱力学第１法則より

$$Q=\Delta U+W=\boldsymbol{\frac{57}{32}kh^2+\frac{7}{4}mgh}_{\text{(エ)}}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第29講　確認テスト

【解答】

(1)　②　　(2)　③　　(3)　②　　(4)　⑤　　(5)　①　　(6)　①

【解説】

各状態での，状態方程式は

$$\begin{cases} 状態1：(3.0\times10^{5})\times(4.0\times10^{-3})=0.5\times R\times T_1 & ——① \\ 状態2：(4.0\times10^{5})\times(4.0\times10^{-3})=0.5\times R\times T_2 & ——② \\ 状態3：(4.0\times10^{5})\times(5.0\times10^{-3})=0.5\times R\times T_3 & ——③ \\ 状態4：(3.0\times10^{5})\times(5.0\times10^{-3})=0.5\times R\times T_4 & ——④ \end{cases}$$

(ただし，状態 i の温度を T_i とおいた。)

(1)　まず，$T_3=500$ [K]であり，①÷③，②÷③，④÷③より，各々

$$T_1=\frac{3}{5}T_3=\mathbf{300}\ [\mathrm{K}],\quad T_2=\frac{4}{5}T_3=\mathbf{400}\ [\mathrm{K}],\quad T_4=\frac{3}{4}T_3=\mathbf{375}\ [\mathrm{K}]$$

(2)

$$W_{2\to3}=(4.0\times10^{5})\times(5.0-4.0)\times10^{-3}=\mathbf{4.0\times10^{2}}\ [\mathrm{J}]$$

(3)

$$W_{4\to1}'=-W_{4\to1}=-(3.0\times10^{5})\times(4.0-5.0)\times10^{-3}=\mathbf{3.0\times10^{2}}\ [\mathrm{J}]$$

(4)　定積変化ゆえ，

$$Q_{1\to2}=0.5\times C_V\times(T_2-T_1)=0.5\times12.5\times100=\mathbf{625}\ [\mathrm{J}]$$

(5)　まず，内部エネルギーの変化は

$$\Delta U_{2\to3}=0.5\times C_V\times(T_3-T_2)=625\ [\mathrm{J}]$$

よって，熱力学第1法則より，

$$Q_{2\to3}=\Delta U_{2\to3}+W_{2\to3}=625+400=\mathbf{1025}\ [\mathrm{J}]$$

(6)　このサイクルの中で，気体が外から熱量を得たのは，1→2と2→3ゆえ，熱効率 e は

$$e=\frac{W_{2\to3}+W_{4\to1}}{Q_{1\to2}+Q_{2\to3}}=\frac{400+(-300)}{625+1025}\fallingdotseq0.0606\fallingdotseq0.061$$

$\therefore$　**6.1％**

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 30 講　確認テスト

【解答】

1　(5)　　2　(h)　　3　(9)　　4　(9)　　5　(g)

6　(8)　　7　(b)　　8　(3)

【解説】

各状態の状態方程式は，各状態での温度を T_{A}，T_{B}，T_{C} として，

$$\begin{cases} \mathrm{A}：P_1V_1 = RT_{\mathrm{A}} & ――①\\ \mathrm{B}：32P_1V_1 = RT_{\mathrm{B}} & ――②\\ \mathrm{C}：P_1V_{\mathrm{C}} = RT_{\mathrm{C}} & ――③ \end{cases}$$

まず，①より

$$T_{\mathrm{A}} = \mathbf{1}\times\frac{P_1V_1}{R}{}_{_1}$$

A→Bで気体に加えられた熱量は①，②より $T_{\mathrm{A}} = \dfrac{P_1V_1}{R}$，$T_{\mathrm{B}} = \dfrac{32P_1V_1}{R}$ だから

$$Q_{\mathrm{AB}} = \frac{3}{2}R(T_{\mathrm{B}} - T_{\mathrm{A}}) = \frac{\mathbf{93}}{\mathbf{2}}P_1V_{1_2}$$

B→Cについて，$PV^{\gamma}=$ 一定の関係を用いると，

$$32P_1\cdot V_1{}^{\gamma} = P_1\cdot V_{\mathrm{C}}{}^{\gamma} \qquad \therefore\quad V_{\mathrm{C}} = 32^{\frac{1}{\gamma}}V_1 = 32^{\frac{3}{5}}V_1 = \mathbf{8}V_{1_3}$$

また，③ ÷ ①より，

$$T_{\mathrm{C}} = \frac{V_{\mathrm{C}}}{V_1}T_{\mathrm{A}} = 8T_{\mathrm{A}} = \mathbf{8}\times\frac{P_1V_1}{R}{}_{_4}$$

B→Cで，気体が外部にした仕事は，熱力学第１法則より②と前問の結果から

$$W_{\mathrm{BC}} = -\Delta U_{\mathrm{BC}} = -\frac{3}{2}R(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}}) = -\frac{3}{2}\times(-24)P_1V_1 = \mathbf{36}P_1V_{1_5}$$

C→Aで，気体が外部にした仕事は

$$W_{\mathrm{CA}} = P_1(V_1 - V_{\mathrm{C}}) = -7P_1V_1$$

となるから，気体がされた仕事は

$$W_{\mathrm{CA}}{}' = -W_{\mathrm{CA}} = \mathbf{7}P_1V_{1_6}$$

このとき，気体が得た熱量 Q_{CA} は，熱力学第１法則より

$$Q_{\mathrm{CA}} = \Delta U_{\mathrm{CA}} + W_{\mathrm{CA}} = \frac{3}{2}R(T_{\mathrm{A}} - T_{\mathrm{C}}) + W_{\mathrm{CA}} = \frac{-35}{2}P_1V_1$$

$$\therefore\quad \frac{\mathbf{35}}{\mathbf{2}}P_1V_{1_7}\ \text{放出する。}$$

熱効率は

$$e = \frac{W_{\mathrm{BC}} + W_{\mathrm{CA}}}{Q_{\mathrm{AB}}} = \frac{36 + (-7)}{\dfrac{93}{2}} = \frac{\mathbf{58}}{\mathbf{93}}{}_{_8}$$

第 31 講　確認テスト

【解答】

ア　⑨	イ　⑤	ウ　④	エ　④	オ　⑤	カ　1
キ　2	ク　5	ケ　1	コ　1	サ　2	シ　3
ス　3	セ　2				

【解説】

(1)

(a)　$Q = \boldsymbol{rI^2 \cdot t}$ _ア

状態方程式より，このときの温度変化 ΔT は $p_0Sx = nR\Delta T$ を満たす。よって，

$$\begin{cases} \text{内部のエネルギーの変化：} \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \boldsymbol{\frac{3}{2}p_0Sx} \text{ _イ} \\ \text{気体が外へした仕事：} W = \boldsymbol{p_0Sx} \text{ _ウ} \end{cases}$$

熱力学第１法則より

$$Q = \Delta U + W = \frac{5}{2}p_0Sx \qquad \therefore \quad p_0Sx = \boldsymbol{\frac{2}{5}Q} \text{ _エ}$$

(b)　速度は $v = \frac{x}{t}$ と書けるから，

$$v = \frac{x}{t} = \frac{2Q}{5p_0S \cdot t} = \frac{2rI^2 \cdot t}{5p_0S \cdot t} = \frac{2rI^2}{5p_0S} = 8 \times 10^{-3} \text{ [m/s]} = \mathbf{0.8} \text{ [cm/s]} \text{ _オ}$$

(2)

(c)　ピストンにかかる力のつりあいから，

$$p = p_0 + \frac{kx}{S} = (1.0 \times 10^5) + \frac{(2.0 \times 10^3) \times 0.10}{1.0 \times 10^{-2}} = \mathbf{1.2 \times 10^5} \text{ [Pa]} \text{ _カ，キ，ク}$$

気体がした仕事は

$$W' = p_0Sx + \frac{1}{2}kx^2 = \mathbf{1.1 \times 10^2} \text{ [J]} \text{ _ケ，コ，サ}$$

状態方程式は

$$\begin{cases} \text{膨張前：} p_0SL = nRT_0 \\ \text{膨張後：} pS(L+x) = nRT \end{cases}$$

なので，温度変化を ΔT として，

$$nR\Delta T = pS(L+x) - p_0SL$$

ピストンにかかる力のつりあいより

$$pS = p_0S + kx$$

だから，

$$nR\Delta T = (p_0S + kx)(L+x) - p_0SL = p_0Sx + kxL + kx^2$$

数値を代入し，内部エネルギーの変化は

$$\Delta U' = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}(p_0Sx + kxL + kx^2) = 330 = \mathbf{3.3 \times 10^2} \text{ [J]} \text{ _シ，ス，セ}$$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 32 講　確認テスト

【解答】

ア　④　　イ　②　　ウ　②　　エ　③　　オ　②　　カ　③

【解説】

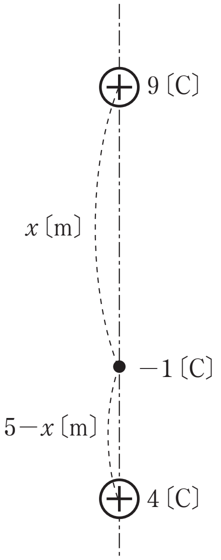
クーロンの法則の式は

$$F = k\frac{Qq}{r^2}$$

（F：クーロン力の大きさ，k：クーロン力の比例定数，r：２つの電荷間の距離，
Q，q：電荷の大きさ）

となっている。よって，２点の**電荷（電気量）の積**_ア に比例し，**距離の２乗**_イ に反比例する。
また，同符号なら**反発力**_ウ，異符号なら**引力**_エ となる。

オ：２つの電荷間の１点について，２つの電荷が**同符号**_オ でないと，電場の向きが逆向きにならない。



カ：右図を参照して，

$$k\cdot\frac{9\times1}{x^2} = k\frac{4\times1}{(5-x)^2}$$

$$9(5-x)^2 = 4x^2$$

$$\therefore\quad 3(5-x) = \pm 2x$$

２つの正電荷の間でなければ力はつり合わないので

$$0 < x < 5$$

$$\therefore\quad x = \mathbf{3}$$ _カ

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第33講　確認テスト

【解答】

ア　⑥　　イ　⑧　　ウ　⑥　　エ　①　　オ　⑤

カ　④　　キ　①　　ク　②

【解説】

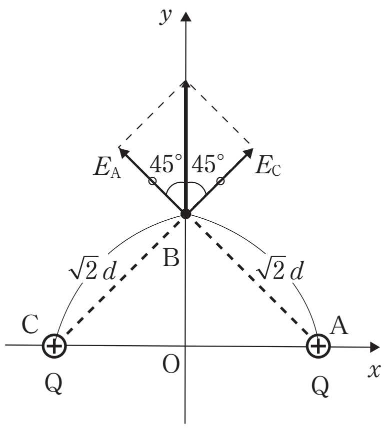
AB間の距離は $\sqrt{2}\,d$ ゆえ，点Aの電荷が点Bに作る電場の大きさ E_A は

$$E_A = k\frac{Q}{(\sqrt{2}\,d)^2} = \boldsymbol{\frac{kQ}{2d^2}}\ \text{ア}\qquad (\text{向きは⑧}\ \text{イ})$$

同様に，点Cの電荷が点Bに作る電場の大きさも $\dfrac{kQ}{2d^2}$ ゆえ，点Bにできる合成電場 E は

$$E = E_A \times 2\cos 45^\circ = \frac{kQ}{2d^2}\times 2\times\frac{1}{\sqrt{2}} = \boldsymbol{\frac{kQ}{\sqrt{2}\,d^2}}\ \text{ウ}$$

となり，向きは①エ



点Bの電位 V_B は

$$V_B = k\frac{Q}{\sqrt{2}\,d} + k\frac{Q}{\sqrt{2}\,d} = \boldsymbol{\frac{\sqrt{2}\,kQ}{d}}\ \text{オ}$$

次に，AとCに正の，Bに負の電荷を固定したときの点Dの電位は

$$V_D = k\frac{Q}{(\sqrt{2}\,d)} + k\frac{Q}{(\sqrt{2}\,d)} + k\frac{(-Q)}{(2d)} = \left(\sqrt{2} - \frac{1}{2}\right)\frac{kQ}{d}$$

となり，無限遠から点Dまでの $(-Q)$ の電荷を運ぶ間に電場がした仕事 W_E は

$$W_E = \underbrace{(-Q)V_\infty - (-Q)V_D}_{\text{位置エネルギーの差}} = \boldsymbol{\left(\sqrt{2} - \frac{1}{2}\right)\frac{kQ^2}{d}}\ \text{カ}$$

キ　正電荷の近くでは電位は正，負電荷の近くでは電位は負となるので①キ

ク　はじめは x 軸に沿って電位の低い方へ，すなわち x 軸の負の方へ動き出すが，点Cの正電荷に近づくにつれて位置エネルギーが高くなり，やがて止まる。その後，電荷は x 軸正の方へ運動し，点Aの近くで止まり，以後これをくり返す。②ク

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 34 講　確認テスト

【解答】

1　(ケ)　　2　(エ)　　3　(キ)　　4　(ケ)　　5　(イ)

【解説】

問 1

グラフを読み取ると，抵抗値は

$$R_1=\frac{4\,[\mathrm{V}]}{3\,[\mathrm{A}]}=\frac{4}{3}\ [\Omega],\ \ R_2=\frac{4\,[\mathrm{V}]}{1\,[\mathrm{A}]}=\mathbf{4.0}\ [\Omega]_1$$

問 2

このとき，R_1，R_2 に流れる電流の大きさを i_1，i_2 とすると，R_1 と R_2 が並列であることから，

$$i_1R_1=i_2R_2 \qquad \therefore\ \ i_2:i_1=R_1:R_2=\frac{4}{3}:4=1:3$$

となる。よって，

$$i_1=\frac{3}{4}\times 4=3.0\ [\mathrm{A}],\ \ i_2=\frac{1}{4}\times 4=\mathbf{1.0}\ [\mathrm{A}]_2$$

問 3

R_1 と R_2 の並列部にかかる電圧は，$i_1R_1=3.0\times\frac{4}{3}=4.0\ [\mathrm{V}]$ となるから，可変抵抗にかかる電圧は，$12-4=8.0\ [\mathrm{V}]$ となる。よって，

$$R=\frac{8.0\,[\mathrm{V}]}{4.0\,[\mathrm{A}]}=\mathbf{2.0}\ [\Omega]_3$$

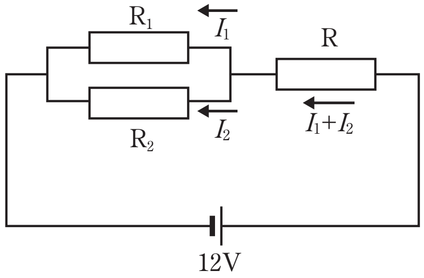
問 4

$$i_2{}^2R_2=1^2\times 4=\mathbf{4.0}\ [\mathrm{W}]_4$$

問 5

図のように，I_1，I_2 をおく。キルヒホッフの第 2 法則より，

$$\begin{cases} I_1R_1=I_2R_2 \\ 12=I_1R_1+(I_1+I_2)R \end{cases}$$



$R_1=\frac{4}{3}$，$R_2=4$ を代入して，2 式より

$$I_1=\frac{9}{1+R},\ \ I_2=\frac{3}{1+R}$$

を得る。よって，求めるべき条件は

$$I_2{}^2R_2=(I_1+I_2)^2R$$

$$\left(\frac{3}{1+R}\right)^2\cdot 4=\left(\frac{12}{1+R}\right)^2\cdot R \qquad \therefore\ \ R=\mathbf{0.25}\ [\Omega]_5$$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第35講　確認テスト

【解答】

(1)　イ　(2)　エ　(3)　イ　(4)　ア　(5)　ウ　(6)　オ

【解説】

(1)　Kを閉じた直後は，コンデンサーは導線とみなしてよい。

$$\therefore \quad I=\boldsymbol{\frac{V}{R}}$$

(2)　静電容量は $C_0=\frac{\varepsilon_0 S}{d}$ となるので，

$$Q=C_0V=\boldsymbol{\frac{\varepsilon_0 SV}{d}}$$

(3)　まず，

$$W=QV=(C_0V)V=C_0V^2,\quad U_1=\frac{1}{2}C_0V^2$$

だから，

$$\frac{U_1}{W}=\boldsymbol{\frac{1}{2}}$$

(4)

$$J=W-U_1=\frac{1}{2}C_0V^2=\boldsymbol{\frac{\varepsilon_0 SV^2}{2d}}$$

(5)

$$C=\frac{\varepsilon_0\left(\frac{S}{2}\right)}{d}+\frac{4\varepsilon_0\left(\frac{S}{2}\right)}{d}=\frac{5}{2}C_0=\boldsymbol{\frac{5\varepsilon_0 S}{2d}}$$

(6)

$$U_2=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}=\frac{1}{2}\cdot\frac{2d}{5\varepsilon_0 S}\left(\frac{\varepsilon_0 SV}{d}\right)^2=\boldsymbol{\frac{\varepsilon_0 S}{5d}V^2}$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 36 講　確認テスト

【解答】

1　③　　2　③　　3　④　　4　⑦

【解説】

問１

ともに $\dfrac{E}{4R}$ の電流が流れるので，電力の比は

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{\left(\dfrac{E}{4R}\right)^2\cdot R}{\left(\dfrac{E}{4R}\right)^2\cdot 2R}=\boldsymbol{\frac{1}{2}}\ _{-1}$$

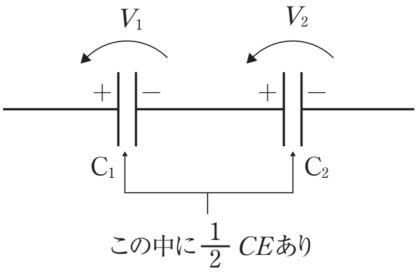
問２

C_2 にかかる電圧は，R_2 にかかる電圧と等しいので，$\dfrac{E}{4R}\times 2R=\dfrac{E}{2}$ となる。よって，C_2 に蓄えられる電荷は，

$$C\times\frac{E}{2}=\boldsymbol{\frac{1}{2}CE}\ _{-2}$$

問３

図のように電位差 V_1，V_2 をとる。



$$\begin{cases}\text{電位差の関係：}V_1+V_2=\dfrac{3}{4}E\\ \text{電荷保存則：}(-2CV_1)+CV_2=\dfrac{1}{2}CE\end{cases}$$

２式より，

$$V_1=\frac{1}{12}E,\quad V_2=\frac{2}{3}E$$

よって，C_2 に蓄えられる電荷は

$$C\times\frac{2E}{3}=\boldsymbol{\frac{2}{3}CE}\ _{-3}$$

問４

a の電位は，C_2 の電位差と R_3 の電位差を考慮して

$$\frac{2}{3}E+\frac{1}{4}E=\boldsymbol{\frac{11}{12}E}\ _{-4}$$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第37講　確認テスト

【解答】

ア　③　　イ　②　　ウ　③　　エ　⑤　　オ　⑨

カ　④　　キ　⑦　　ク　⑥

【解説】

(1)　図1のように V_P, I をとると,

$$5.0 = V_P + 10.0I$$

$V_P = 0$ のとき $I = 0.5$, $I = 0$ のとき $V_P = 5$ より図5(1)のグラフを得る。

これとPの特性曲線から交点を求めると

$V_P = 2.0$〔V〕, $I = \mathbf{0.30}$〔A〕_ア

R_1 の電圧降下は

$R_1 I = 10 \times 0.3 = \mathbf{3.0}$〔V〕_イ

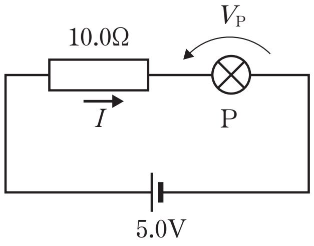


図1

(2)　図2のように V_Q, I をとると,

$$5.0 = 10.0I + 2V_Q$$

(1)と同様にして図5(2)のグラフを得る。

これとQの特性曲線の交点を求めて（図5）

$V_Q = 1.0$〔V〕, $I = \mathbf{0.30}$〔A〕_ウ

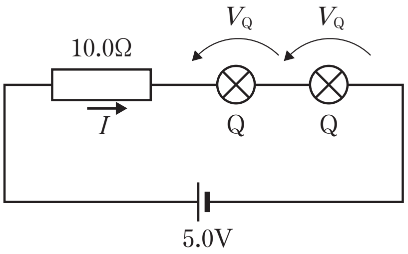


図2

(3)　電圧について, $V_P + V_Q = 10$ となる。特性曲線について, 同じ電流値で $V_P + V_Q = 10$ となる電流値を求めると, **0.50**〔A〕_エ

このとき, $V_P = 7.0$〔V〕ゆえ, Pの抵抗は

$$\frac{7.0}{0.5} = \mathbf{14.0}\ [\Omega]\text{_オ}$$

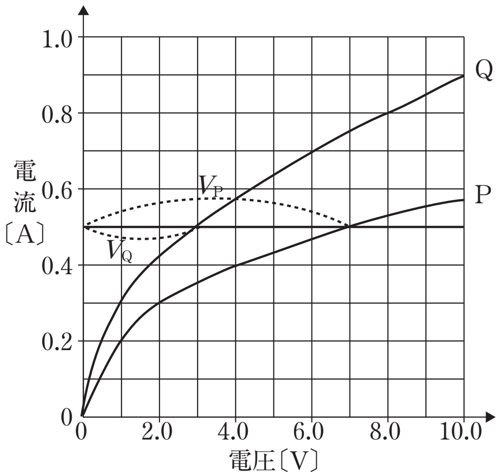


図3

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(4)　図 4 のように V_P，I をとると，R_4 を流れる電流は

$\dfrac{V_P}{R_4}=\dfrac{V_P}{20}$，$R_5$ を流れる電流は $I+\dfrac{V_P}{20}$ となる。

よって，回路の方程式は

$$16=V_P+\left(I+\frac{V_P}{20}\right)\times 20$$

$$16=2V_P+20I$$

(1)と同様にして図 5 (4)のグラフを得る。

これと，P の特性曲線の交点を求めると（図 5），

$V_P=4.0$ [V]，$I=$ **0.40** [A]＿カ

P の抵抗値は

$\dfrac{V_P}{I}=$ **10.0** [Ω]＿キ

R_5 を流れる電流は

$I+\dfrac{V_P}{20}=$ **0.60** [A]＿ク

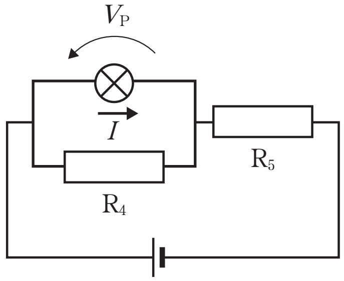


図 4

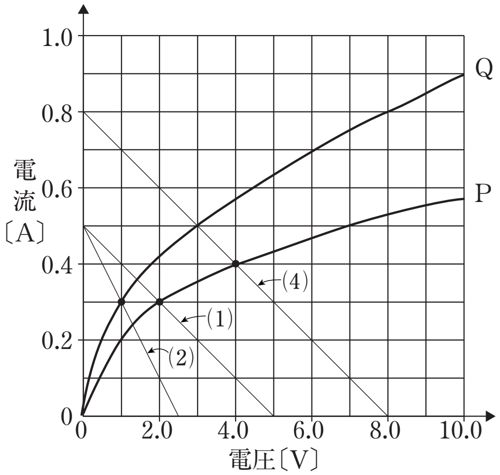


図 5

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第38講　確認テスト

【解答】

1	c	2	h	3	s	4	n	5	d	6	e
7	q	8	q	9	e	10	p	11	c	12	k

【解説】

1．図1のように電流 I_1，I_2 をとる。キルヒホッフの第2法則より，

$$\begin{cases} 200I_1 = 50I_2 \\ 120 = 200I_1 + 40(I_1 + I_2) \end{cases}$$

2式より

$I_1 = \mathbf{0.3}$ [A]$_{_1}$　，　$I_2 = \mathbf{1.2}$ [A]$_{_2}$

Qの電位は

$R_3(I_1 + I_2) = \mathbf{60}$ [V]$_{_3}$

R_1 のジュール熱は

$I_1^2 R_1 = \mathbf{18}$ [J]$_{_4}$

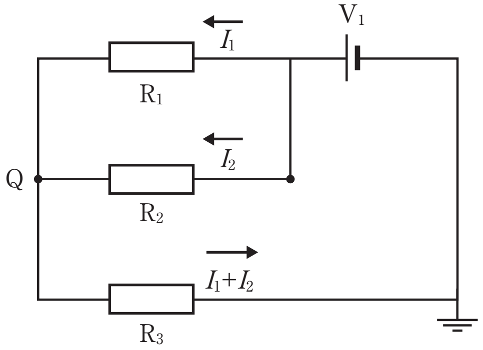


図1

2．図2のように，電流 I_1，I_2 をとる。キルヒホッフの第2法則より

$$\begin{cases} 120 = 200I_1 + 40(I_1 + I_2) \\ 120 - 200I_1 = 70 - 50I_2 \end{cases}$$

2式より

$I_1 = \mathbf{0.4}$ [A]$_{_5}$　，　$I_2 = \mathbf{0.6}$ [A]$_{_6}$

Qの電位は

$R_3(I_1 + I_2) = \mathbf{40}$ [V]$_{_7}$

R_3 のジュール熱は

$R_3(I_1 + I_2)^2 = \mathbf{40}$ [J]$_{_8}$

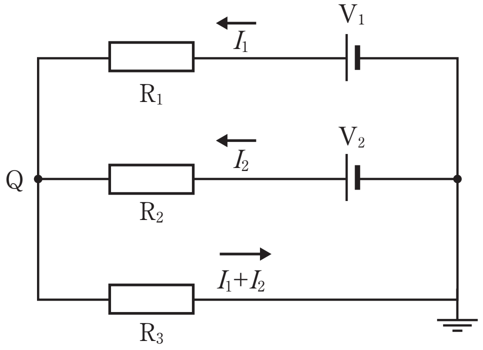


図2

3．十分に時間がたつと，Cと R_2 に電流は流れない。R_1 と R_3 には $\dfrac{120}{200+40} = 0.5$ [A] の電流が流れるので，R_1 の電圧は $200 \times 0.5 = 100$ [V]。Cの電圧も100 [V] だから，

電気量は　$C \times 100 = \mathbf{0.6} \times 10^{-6}$ [C]$_{_9}$

エネルギーは　$\dfrac{1}{2} C \cdot 100^2 = \mathbf{30} \times 10^{-6}$ [J]$_{_10}$

4．Cの電圧は　$120 - 70 = 50$ [V] となるので

電気量は　$C \times 50 = \mathbf{0.3} \times 10^{-6}$ [C]$_{_11}$

エネルギーは　$\dfrac{1}{2} C \cdot 50^2 = \mathbf{7.5} \times 10^{-6}$ [J]$_{_12}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第39講　確認テスト

【解答】

［A］　1　⑤　　2　③　　3　⑧

［B］　4　①　　5　④　　6　⑤　　7　④　　8　④　　9　⑦

【解説】

［A］

(1)　エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV_0 \qquad \therefore \quad v = \sqrt{\frac{2eV_0}{m}} \text{—}1$$

(2)　等速円運動の運動方程式より，

$$m\frac{v^2}{r} = evB \qquad \therefore \quad r = \frac{mv}{eB} = \sqrt{\frac{2mV_0}{eB^2}} \text{—}2$$

(3)　等速円運動の $\frac{1}{2}$ 周期だから，

$$\frac{2\pi r}{v} \times \frac{1}{2} = \frac{\pi m}{eB} \text{—}3$$

［B］

(1)　y 方向の加速度を α として，運動方程式は

$$m\alpha = eE \qquad \therefore \quad \alpha = \frac{eE}{m} \text{—}4$$

(2)　平行板電極の間を通り抜けるのにかかる時間は，$t = \frac{l}{v}$ ゆえ，

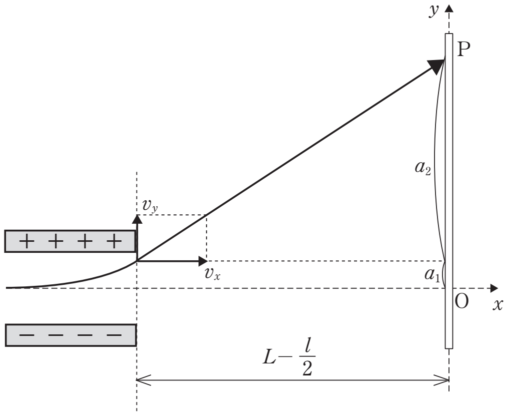
$$a_1 = \frac{1}{2}\alpha t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{eE}{m}\left(\frac{l}{v}\right)^2 \text{—}5$$

(3)　$v_y = \alpha t = \frac{eE}{m} \cdot \frac{l}{v}$ —6

(4)　図より，

$$\frac{a_2}{L - \frac{l}{2}} = \frac{v_y}{v_x} = \frac{\left(\frac{eEl}{mv}\right)}{v}$$

$$\therefore \quad a_2 = \frac{eEl}{mv^2}\left(L - \frac{l}{2}\right)$$



よって

$$a = a_1 + a_2 = \frac{eE}{2m}\left(\frac{l}{v}\right)^2 + \frac{eEl}{mv^2}\left(L - \frac{l}{2}\right) = \frac{eElL}{mv^2} \text{—}7$$

(5)　(4)より，

$$\frac{e}{m} = \frac{v^2 a}{ElL} = \frac{(8\times10^6)^2\times0.25}{1.2\times10^4\times0.02\times0.3} \fallingdotseq 2.2\times10^{11}\ [\mathrm{C/kg}] \text{—}8,\ 9$$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第40講　確認テスト

【解答】

⑴　1　⑦　　2　⑤　　3　②　　4　③　　5　⑤　　6　⑤　　7　⑥

⑵　8　⑤　　9　④　　10　⓪

【解説】

⑴　Ⅰの電流がⅡの位置に作る磁束密度は

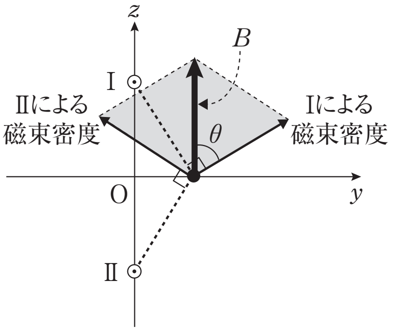
$$B_1 = \mu_0 H_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi(2d)} = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} \quad (+y\text{ 方向})$$

となるので，導線Ⅱの電流が受ける力は

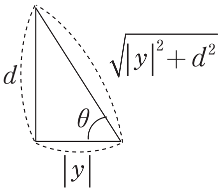
$$F = IB_1 \cdot 1 = \boldsymbol{\frac{\mu_0 I^2}{4\pi d}}\ {}_{-1} \qquad \textbf{(+z 方向)}\ {}_{-2}$$

Ⅰの電流がOに作る磁束密度は

$$B_0 = \mu_0 H_0 = \boldsymbol{\frac{\mu_0 I}{2\pi d}}\ {}_{-3} \qquad \textbf{(+y 方向)}\ {}_{-4}$$



(0, y, 0) にできる磁束密度は，Ⅰによるものと
Ⅱによるものの合成をして，



$$\cos\theta = \frac{|y|}{\sqrt{y^2+d^2}}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi\sqrt{y^2+d^2}} \times 2\cos\theta = \boldsymbol{\frac{\mu_0 I|y|}{\pi(y^2+d^2)}}\ {}_{-5}$$

となり，$y>0$ のときは **+z 方向**$_{-6}$，$y<0$ のときは **−z 方向**$_{-7}$

⑵　導体棒にかかる力は，$y>0$ のとき B が $+z$ 向きだから，

$$f = I_0 B \cdot l = \boldsymbol{\frac{\mu_0 I I_0 l s}{\pi(s^2+d^2)}}\ {}_{-8} \qquad \textbf{(−y 方向)}\ {}_{-9}$$

となり，近似をすると，

$$f \fallingdotseq \frac{\mu_0 I I_0 l}{\pi d^2} s$$

となる。よって，導体棒の y 方向の運動方程式は

$$ma = -\frac{\mu_0 I I_0 l}{\pi d^2} y$$

となり，単振動をすることがわかる。その周期は

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\left(\dfrac{\mu_0 I I_0 l}{\pi d^2}\right)}} = \boldsymbol{2\pi\sqrt{\frac{\pi m d^2}{\mu_0 I I_0 l}}}\ {}_{-10}$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第41講　確認テスト

【解答】

1　④　　2　④　　3　②　　4　①　　5　②

【解説】

1　磁束変化を $\Delta\Phi$ とすると

$$\Delta\Phi = B\cdot\Delta S = B\cdot lv\Delta t = 10\times0.1\times0.5\times1 = \mathbf{0.5}\ [\mathrm{Wb}]$$

2

$$V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{0.5}{1} = \mathbf{0.5}\ [\mathrm{V}]$$

3

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0.5}{5} = \mathbf{0.1}\ [\mathrm{A}]$$

4

$$I^2R = 0.1^2\times5 = \mathbf{0.05}\ [\mathrm{J}]$$

5

$$F = IBL = 0.1\times10\times0.1 = \mathbf{0.1}\ [\mathrm{N}]$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 42 講　確認テスト

【解答】

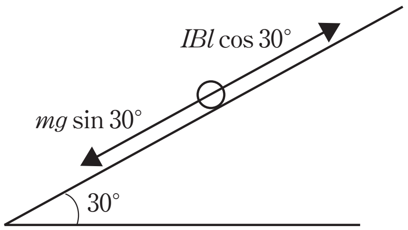
１　②　　２　④　　３　②　　４　⑤

【解説】

問１

斜面に平行な方向の力のつり合いを考えて，$mg\sin 30^\circ = \boldsymbol{\frac{1}{2}mg}$ ＿1

問２



$$\begin{cases} 力のつりあい：mg\sin 30^\circ = IBl\cos 30^\circ & ——① \\ 回路について：E = RI & ——② \end{cases}$$

①②より I を消去して，

$$R = \boldsymbol{\frac{\sqrt{3}\,EBl}{mg}}$$ ＿2

問３

誘導起電力の大きさは，$V = Blv\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}Blv$ となるから，

$$i = \frac{V}{R} = \boldsymbol{\frac{\sqrt{3}\,Blv}{2R}}$$ ＿3

問４

導体棒にかかる斜面に平行な力の和が０になるから

$$mg\sin 30^\circ - iBl\cos 30^\circ = 0 \qquad \therefore\ i = \frac{mg}{Bl}\tan 30^\circ = \frac{mg}{\sqrt{3}\,Bl}$$

問３の結果とあわせると，このときの棒の速さは

$$\frac{\sqrt{3}\,Blv}{2R} = \frac{mg}{\sqrt{3}\,Bl} \qquad \therefore\ v = \frac{2mgR}{3B^2l^2}$$

よって，位置エネルギーの変化は

$$\Delta U = mg\times v\sin 30^\circ = \frac{m^2g^2R}{3B^2l^2} = \boldsymbol{\frac{1}{3}\left(\frac{mg}{Bl}\right)^2 R}$$ ＿4

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第43講　確認テスト

【解答】

問1　1　②　2　⑦　3　④　4　⑤　5　⑧
　　6　⑦　7　⑤　8　②

問2　9　⑦

問3　10　2，11　9

【解説】

問1

$$H=\boldsymbol{\frac{n}{l}I}\ [\mathbf{A/m}]_{\text{—1, 2, 6}}$$

$$B=\boldsymbol{\mu_0 H}\ [\mathbf{T}]_{\text{—3, 4, 7}}$$

$$\phi=B\times\pi r^2=\mu_0 H\cdot\pi r^2=\boldsymbol{\mu_0\cdot\frac{n}{l}\cdot\pi r^2\cdot I}\ [\mathbf{Wb}]_{\text{—(1, 3), 5, 8}}$$

問2

ソレノイドAを貫く磁束は

$$\phi=B\cdot\pi r^2=\mu_0\frac{n}{l}I\cdot\pi r^2=\frac{\mu_0 n\pi r^2}{l}I\ [\mathrm{Wb}]$$

と表されるので，電流 I を ΔI だけ変化させるとき，磁束は

$$\Delta\phi=\frac{\mu_0 n\pi r^2}{l}\cdot\Delta I=\frac{\mu_0 n\pi r^2}{l}\cdot I\times\frac{\Delta I}{I}=\phi\times\frac{\Delta I}{I}\ [\mathrm{Wb}]$$

だけ変化する。よって，誘導起電力の大きさは，

$$V_1=\underbrace{n}_{\text{巻数}}\times\underbrace{\frac{\Delta\phi}{\Delta t}}_{\text{1巻きあたりの起電力}}=\boldsymbol{\frac{n\phi}{I}\cdot\frac{\Delta I}{\Delta t}}_{\text{—9}}$$

問3

ソレノイドAが作る磁束密度の大きさは $\mu_0\frac{n}{l}I$ [T] であり，ソレノイドBの内側を貫く磁束の大きさは

$$\phi'=\frac{\mu_0 nI}{l}\times\pi\left(\frac{r}{3}\right)^2=\frac{1}{9}\phi$$

よって，電流 I が ΔI だけ変化するときにソレノイドBに生ずる誘導起電力の大きさは

$$V_2=2n\times\frac{\Delta\phi'}{\Delta t}=2n\times\frac{1}{9}\frac{\Delta\phi}{\Delta t}=\boldsymbol{\frac{2}{9}}V_1{}_{\text{—10, 11}}$$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第44講　確認テスト

【解答】

(1)　①　イ　②　ウ　③　ウ

(2)　④　オ　⑤　エ　⑥　オ　⑦　ア

【解説】

(1)　定常状態では，コイルはただの導線とみなせる!!　よって，

ab間の電圧は　$\mathbf{0}$ _①

抵抗を流れる電流は　$\boldsymbol{\dfrac{E}{R}}$ _②

コイルのエネルギーは　$\boldsymbol{\dfrac{1}{2}L\left(\dfrac{E}{R}\right)^2}$ _③

(2)　スイッチを切り替えると，電気振動が始まる。周波数は

$$f=\boldsymbol{\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}\ \text{_④}$$

また，電流の最大振幅は，スイッチを切り替えた直後にコイルを流れる電流の大きさに等しく，$\boldsymbol{\dfrac{E}{R}}$ _⑤ となる。

よって，電流の大きさは

$$I=\frac{E}{R}\cos\omega t=\boldsymbol{\frac{E}{R}\cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t\right)}\ \text{_⑥}$$

となる。

また，エネルギー保存則より，コイルの電流が0となった瞬間の，コンデンサーが蓄えている電荷 Q は

$$\frac{1}{2}L\left(\frac{E}{R}\right)^2=\frac{Q^2}{2C}$$

$$\therefore\quad Q=\boldsymbol{\frac{E}{R}\sqrt{LC}}\ \text{_⑦}$$

となり，これが電荷の振動の振幅となる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 45 講　確認テスト

【解答】

1　②　　2　②　　3　①　　4　⑦　　5　⑦　　6　ⓑ

【解説】

$t=0$ では,

$$\Phi_0 = \boldsymbol{B \cdot ab}_1$$

時刻 t では，コイルは ωt だけ回転しているので，有効面積は $ab\cos\omega t$ となる。よって

$$\Phi = B \times ab\cos\omega t = \Phi_0 \times \boldsymbol{\cos\omega t}_2$$

$\Delta\Phi < 0$ のとき，コイルには磁束を増やそうとする向きに電流が流れるので **D_1 の向き**_3 に電流が流れる。

コイルに生ずる起電力は，向きも含めて

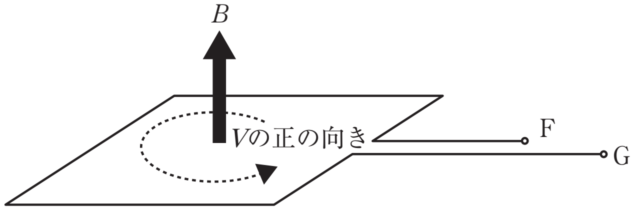
$$V = -\boldsymbol{\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}_4$$

なので,

$$V = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(\Phi_0 \times \cos\omega t)}{\Delta t} = \boldsymbol{\omega\Phi_0 \sin\omega t}_5$$

消費電力の平均値は，実効値 I_e と V_e を用いて

$$\overline{P} = I_e \times V_e = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{\omega Bab}{R}\right) \times \frac{\omega Bab}{\sqrt{2}} = \boldsymbol{\frac{(\omega Bab)^2}{2R}}_6$$



$t=0$のときのコイルの向き

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第46講　確認テスト

【解答】

(i)　(1)〔2〕

(ii)　(2)〔7〕　(3)〔25〕　(4)〔17〕　(5)〔20〕　(6)〔6〕

(iii)　(7)〔11〕　(8)〔28〕　(9)〔14〕　(10)〔23〕　(11)〔12〕

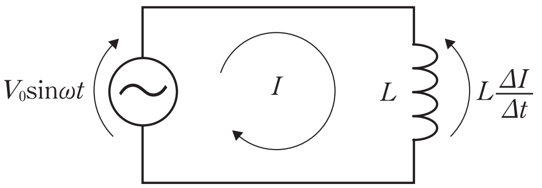
【解説】

(i)

$$T=\frac{2\pi}{\boldsymbol{\omega}}\ _{(1)}$$

(ii)

$$V=\boldsymbol{L}\times\frac{\Delta I}{\Delta t}\ _{(2)}$$



となるので,

$$L\frac{\Delta I}{\Delta t}=V_0\sin\omega t$$

Δ を d に変えて，両辺を積分すれば,

$$I=-\frac{V_0}{\omega L}\cos\omega t=\frac{V_0}{\omega L}\sin\left(\boldsymbol{\omega t-\frac{\pi}{2}}\right)_{(5)}$$

を得る。よって，グラフは **〔25〕**_(3) であり，I の位相は V の位相に対して **$\frac{\pi}{2}$ だけ遅れている。**_(4) また，I の最大値 I_0 は

$$I_0=\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\omega L}}\times V_0\ _{(6)}$$

(iii)

$$I=\frac{\Delta Q}{\Delta t}\ \text{と，}Q=CV\text{より，}$$

$$I=\boldsymbol{C}\times\frac{\Delta V}{\Delta t}\ _{(7)}$$

$V=V_0\sin\omega t$ を代入して，$\Delta\to d$ として微分すると

$$I=\omega CV_0\cos\omega t=\omega CV_0\sin\left(\boldsymbol{\omega t+\frac{\pi}{2}}\right)_{(10)}$$

となり，グラフは **〔28〕**_(8) となる。

I の位相は V の位相に対して **$\frac{\pi}{2}$ だけ進み**_(9),

I の最大値 I_0 は

$$I_0=\boldsymbol{\omega C}\cdot V_0\ _{(11)}$$

となる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 47 講　確認テスト

【解答】

問１　1　①　　問２　2　⑤　　問３　3　⑦　　4　③

問４　5　⑨　　6　⑧　　問５　7　②

【解説】

問１

$B=\boldsymbol{\mu n_1 I}$ _1

問２

$V_2=\boldsymbol{M\dfrac{\Delta I}{\Delta t}}$ _2

問３

コイル１の電流が ΔI だけ変化したとき，コイル１，２の内側を貫く磁束は

$\Delta\phi=\Delta B\cdot S=\mu n_1 S\cdot\Delta I$

となる。よって，コイル２に生ずる誘導起電力は，ファラデーの電磁誘導の法則より

$V_2=\dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}\times(n_2 l)=\mu n_1 n_2 lS\cdot\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$　（b_2 に対して a_2 が高い時を正とした）

$\therefore\quad M=\boldsymbol{\mu n_1 n_2 lS}$ _3

同様にコイル１の起電力は

$V_1=\dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}\times(n_1 l)=\mu n_1{}^2 lS\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$　（b_1 に対して a_1 が高い時を正とした）

$\therefore\quad L_1=\boldsymbol{\mu n_1{}^2 lS}$ _4

問４

図２の場合，電磁の向きに対してコイル１とコイル２を貫く磁場の向きは同じなので，２つあわせたもののインダクタンスは

$\mu(n_1+n_2)^2 lS=\mu n_1{}^2 lS+\mu n_2{}^2 lS+2\cdot\mu n_1 n_2 lS=L_1+L_2+2M$

となる。よって電流を I だけ流すときにコイルが持つエネルギーの合計は

$\boldsymbol{\dfrac{1}{2}(L_1+L_2+2M)I^2}$ _5

同様に図３のとき，合成インダクタンスは L_1+L_2-2M となるので，合計エネルギーは

$\boldsymbol{\dfrac{1}{2}(L_1+L_2-2M)I^2}$ _6

問５

$\dfrac{\mu n_1 I-\mu n_2 I}{\mu n_1 I}=\boldsymbol{\dfrac{n_1-n_2}{n_1}}$ _7

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第48講　確認テスト

【解答】

1．あ：光路長（光学的距離）　い：全反射　う：散乱　え：偏光

2．イ：c　ロ：e　ハ：a　ニ：e

【解説】

1．略

2．イ：屈折の法則より

$$\boldsymbol{n_0\sin\alpha_1 = n_1\sin\beta_1}\ \text{_イ}$$

ロ：屈折の法則より，

$$n_1\sin\beta_2 = n_0\sin\alpha_2$$

となるが，$\triangle OA_2B_2$ で正弦定理を用いると，

$$\frac{r_2}{\sin\beta_2} = \frac{r_1}{\sin\gamma_2}$$

となるので，$\sin\beta_2$ を消去すれば，

$$\boldsymbol{r_1 n_0 \sin\alpha_2 = r_2 n_1 \sin\gamma_2}\ \text{_ロ}$$

を得る。

ハ：γ_2 が臨界角のとき，点 B_2 において

$$n_1\sin\gamma_2 = n_2\sin 90^\circ \qquad \therefore\ \sin\gamma_2 = \frac{n_2}{n_1}$$

となる。これを ロ の式に代入して，

$$\boldsymbol{\sin\alpha_2 = \frac{r_2 n_2}{r_1 n_0}}\ \text{_ハ}$$

ニ：赤い光の方が青い光より曲がりにくい。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

Ⓒ RECRUIT
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。